



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

**KEANEKARAGAMAN CENDAWAN ENTOMOPATOGEN PADA
RHIZOSFIR KAKAO DAN PATOGENESITASNYA TERHADAP
HAMA PENGGEREK BUAH KAKAO, *Conopomorpha cramerella*
Snellen
(Lepidoptera : Gracillariidac)**

TESIS



**H A M D A N I
07205004**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS ANDALAS
2009**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi tesis yang saya tulis dengan judul **“Keanekaragaman Cendawan Entomopatogen pada Rhizosfir Kakao dan Patogenesitasnya Terhadap Hama Penggerek Buah Kakao, *Conopomorpha cramerella* Snellen (Lepidoptera; Gracillariidae)”**, adalah murni hasil kerja/karya saya sendiri dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang dikutip dari karya yang diterbitkan atau tidak dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Padang, Juli 2009

Yang Membuat Pernyataan

HAMDANI
BP. 07205004



cendawan yang virulen dan efektif sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bioinsektisida untuk pengendalian *C.cramerella*.

Penelitian telah dilaksanakan di lapangan dan di laboratorium dari bulan Juni sampai Desember 2008. Penelitian ini meliputi 3 tahap yaitu 1) keanekaragaman cendawan entomopatogen. Pada tahap ini meliputi kegiatan pengambilan sampel tanah untuk isolasi cendawan entomopatogen yang dikoleksi dari rhizosfir tanaman kakao di kabupaten Padang Pariaman dan kabupaten Solok. Selain itu, juga dilakukan pengamatan lapangan terhadap kondisi ekosistem kakao (jenis tanaman pelindung, ketinggian tempat, suhu, kelembaban dan faktor fisik tanah), tingkat serangan *C.cramerella* dan perilaku petani dalam aplikasi pengendalian OPT. Data yang diperoleh masing-masing ditampilkan secara deskriptif. 2) Identifikasi dan karakterisasi fisiologis cendawan entomopatogen. Penelitian tahap ini meliputi identifikasi cendawan entomopatogen yang dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis kemudian dilakukan karakterisasi fisiologis yang meliputi daya kecambah, laju pertumbuhan koloni dan sporulasi. 3) Uji patogenesitas cendawan entomopatogen terhadap *C.cramerella*. Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap (RAL) dengan 4 ulangan dan 6 genus cendawan yang ditemukan (10 isolat) sebagai perlakuan yang diuji. Serangga *C.cramerella* yang diuji adalah stadia prapupa. Konsentrasi konidia dari masing-masing cendawan entomopatogen yang digunakan adalah 10^8 konidia/ml. Parameter pengamatan meliputi gejala infeksi, lama kematian prapupa *C.cramerella*, mortalitas prapupa dan persentase imago yang terbentuk. Data yang diperoleh dianalisis dengan sidik ragam dan dilanjutkan dengan Uji Tukey (HSD)

pada taraf nyata 5%. Penelitian tahap 2 dan 3 dilaksanakan di laboratorium Pengendalian Hayati Jurusan Hama Penyakit Tumbuhan Universitas Andalas.

Hasil koleksi cendawan dari rhizosfir tanaman kakao dengan teknik perangkap serangga (*insect baiting methode*) di Padang Pariaman diperoleh 2 genus yaitu *Metarhizium* dan *Penicillium* sedangkan dengan medium selektif DOC-2 diperoleh 1 genus yaitu *Beauveria*. Selanjutnya dari kabupaten Solok, koleksi cendawan dengan teknik perangkap serangga (*insect baiting methode*) diperoleh 4 genus yaitu *Metarhizium*, *Fusarium*, *Aspergillus* dan *Paecilomyces* sedangkan dengan medium selektif DOC-2 diperoleh 1 genus yaitu *Beauveria*. Masing-masing isolat cendawan yang berhasil diisolasi dan diidentifikasi menunjukkan karakter fisiologis dan morfologis yang berbeda.

Hasil pengamatan laju pertumbuhan koloni pada masing-masing isolat cendawan entomopatogen yang dilakukan setiap 5 hari sampai hari ke 20 setelah inokulasi berbeda antar isolat cendawan. Cendawan *Metarhizium* (isolat MetS3), *Penicillium* (isolat PenP2), *Beauveria* (isolat BbP1 dan BbS1) pertumbuhan koloninya lebih cepat dibanding dengan cendawan lainnya. Pengamatan 20 hsi rata-rata diameter koloni telah mencapai lebih dari 8 cm. Selanjutnya cendawan *Paecilomyces* (isolat PaeS4), *Aspergillus* (isolat AsS3) dan *Fusarium* (FusS1) laju pertumbuhan koloninya relatif lebih lambat. Pengamatan sampai 20 hsi, rata-rata diameter koloni masih dibawah 8 cm. Rata-rata pertumbuhan koloni perhari yang paling tinggi adalah *Beauveria* (isolat BbS1) yaitu 4,25 mm/hari sedangkan yang paling rendah adalah cendawan *Paecilomyces* (isolat PaeS4) yaitu 2,71 mm/hari.

Hasil pengamatan terhadap daya kecambah (viabilitas) konidia cendawan entomopatogen pada 18 jam setelah inokulasi tidak berbeda nyata antar cendawan.

Dari 10 isolat cendawan entomopatogen yang diuji, cendawan *Aspergillus* (isolat AsS3) memiliki rata-rata daya kecambah paling tinggi yaitu 98,5% pada 18 jsi diikuti cendawan *Metarhizium* (isolat MetP1, MetS2 dan MetP3) dan *Beauveria* (isolat BbP1 dan BbS1) dengan daya kecambah rata-rata diatas 95%. Sedangkan cendawan *Fusarium* (isolat FusS1), *Paecilomyces* (isolat PaeS4) dan *Penicillium* (isolat PenP2) rata-rata daya kecambahnya dibawah 95%. Rata-rata daya kecambah yang paling rendah adalah cendawan *Penicillium* (isolat PenP2) yaitu 93,5%.

Hasil pengamatan sporulasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jumlah konidia antar cendawan. Cendawan dengan tingkat sporulasi paling tinggi dimiliki oleh cendawan *Aspergillus* (isolat AsS3) dengan jumlah konidia $9,625 \times 10^9$ /cawan petri diikuti secara berturut-turut oleh cendawan *Metarhizium* (isolat MetP1), *Beauveria* (isola BbP1) dan *Penicillium* (isolat PenP2). Cendawan dengan tingkat sporulasi paling rendah dimiliki oleh cendawan *Metarhizium* (isolat MetS2) dengan jumlah konidia $4,437 \times 10^9$ /cawan petri.

Hasil uji patogenesitas menunjukkan bahwa semua cendawan entomopatogen yang diuji memiliki patogenesitas yang berbeda tidak nyata antar jenis cendawan terhadap serangga *C.cramerella* dan berbeda sangat nyata dengan kontrol. Mortalitas rata-rata serangga uji setelah 8 hari penginfeksi berkisar antara 77,5 – 100% berbeda sangat nyata dengan kontrol (5%). Cendawan *Metarhizium* (isolat MetP3 dan MetP1) dan *Aspergillus* (isolat AsS3) merupakan cendawan yang memiliki patogenesitas paling tinggi dan menyebabkan mortalitas *C.cramerella* 100%. Cendawan yang memiliki patogenesitas paling rendah adalah

Penicillium (isolat PenP2) dengan rata-rata mortalitas *C.cramerella* sebesar 77,5%.

Hasil analisis probit menunjukkan bahwa ada variasi nilai LT_{50} antara masing-masing isolat cendawan entomopatogen. Nilai LT_{50} masing-masing cendawan entomopatogen berkisar antara 1,46 – 3,73 hari. Nilai LT_{50} yang paling rendah dimiliki oleh cendawan *Beauveria* (isolat BbP1) yaitu 1,46 hari. Kondisi ini membuktikan bahwa isolat BbP1 (*Beauveria* asal Padang Pariaman) memiliki daya bunuh paling cepat dan hanya membutuhkan sedikit waktu untuk bisa menginfeksi dan mematikan 50% serangga uji dibanding dengan isolat cendawan entomopatogen lainnya.

Hasil pengamatan selama penelitian terhadap gejala awal infeksi, waktu kematian dan sporulasi cendawan pada tubuh serangga menunjukkan hasil yang berbeda antar jenis cendawan. *C.cramerella* terinfeksi cendawan entomopatogen menunjukkan gejala awal yang hampir sama yaitu lemah (kurang aktif ketika disentuh) kemudian mati. *C.cramerella* dikatakan telah mengalami kematian jika disentuh menggunakan jarum tumpul terutama pada segmen ketiga dari abdomen tidak memperlihatkan reaksi berupa gerakan kekiri dan kekanan. Setelah mengalami kematian, tubuh serangga menjadi mengeras, mengkerut dan kaku. Selanjutnya pada bagian luar tubuh *C.cramerella* akan ditumbuhi koloni cendawan dengan karakter dan warna yang berbeda sesuai jenis cendawan yang menginfeksinya.

Pengamatan terhadap tingkat kematian serangga uji sampai 8 hsi menunjukkan bahwa semua *C.cramerella* yang tidak mati pada saat uji patogenesitas akan berubah menjadi imago sempurna, kecuali pada perlakuan

cendawan *Beauveria* (isolat BbP1) ditemukan ada imago yang cacat. Persentase imago yang terbentuk sampai akhir pengamatan (8 hsi) berbeda sangat nyata dengan kontrol. Cendawan *Aspergillus* (isolat AsS3), *Metarhizium* (isolat MetP1 dan MetP3) memiliki efektivitas paling tinggi (100%) sehingga tidak satupun serangga uji yang mampu menjadi imago, kecuali pada isolat MetP3 ditemukan ada 2 ekor (5%) yang mampu menjadi imago tetapi akhirnya mengalami kematian karena terinfeksi.

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa 1). Berdasarkan karakter morfologi dan fisiologi terdapat keanekaragaman cendawan entomopatogen dari rhizosfir tanaman kakao di dua lokasi yang berbeda. Di kabupaten Padang Pariaman ditemukan tiga genus cendawan entomopatogen (*Metarhizium*, *Beauveria* dan *Penicillium*), di kabupaten Solok ditemukan lima genus cendawan entomopatogen (*Beauveria*, *Metarhizium*, *Fusarium*, *Aspergillus* dan *Paecilomyces*). 2). Hasil seleksi isolat masing-masing cendawan entomopatogen menunjukan bahwa cendawan *Beauveria* (isolat BbP1 dan BbS1) dan *Metarhizium* (isolat MetP3 dan MetP1) merupakan cendawan yang lebih virulen terhadap *C.cramerella* dibandingkan dengan isolat cendawan uji lainnya. 3). Dilihat dari tingkat patogenesitas, cendawan *Aspergillus* spp berpotensi untuk dikembangkan sebagai bioinsektisida.

**KEANEKARAGAMAN CENDAWAN ENTOMOPATOGEN
PADA RHIZOSFIR KAKAO DAN PATOGENESITASNYA
TERHADAP HAMA PENGGEREK BUAH KAKAO,
Conopomorpha cramerella Snellen
(Lepidoptera : Gracillariidae)**

Oleh :

**H A M D A N I
07205004**

T E S I S

**Sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister Pertanian
pada Program Pascasarjana Universitas Andalas**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2009**

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 11 Juni 1962 di Pontianak Kalimantan Barat, sebagai anak pertama dari 9 bersaudara, anak dari Bapak Muhammad Nur dan Ibu Syafariah. Penulis menamatkan SD Negeri No. 43 Pontianak pada tahun 1974, SMP Negeri V Pontianak pada tahun 1977 dan SPP-SPMA Kalimantan Barat pada tahun 1981. Pada Agustus 1981, penulis diterima bekerja di Dinas Perkebunan Provinsi Kalimantan Barat. Tahun 1987 penulis mengikuti Pendidikan Program Diploma I Perlindungan Tanaman Perkebunan pada Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran Bandung. Tahun 2000 penulis menyelesaikan pendidikan Program Diploma III Penyuluhan Pertanian pada UPBJJ-UT Pontianak dan tahun 2002 penulis memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian (S.TP) pada Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Dr. Soetomo Surabaya. Pada tahun 1984, penulis menikah dengan sorang wanita bernama Daryati dan sekarang telah dikaruniai 3 orang anak, Dody Eko Prandayu, Devy Dwi Pradanti dan Desty Tri Prandari.

Dari tahun 1988 sampai dengan sekarang penulis berstatus sebagai Pegawai Negeri Sipil pada Balai Proteksi Tanaman Perkebunan (BPTP) Kalimantan Barat. Selanjutnya pada tahun 2007 penulis lulus seleksi untuk mengikuti pendidikan S2 pada Program Pascasarjana Universitas Andalas Padang Program Studi Hama Penyakit Tumbuhan dengan beasiswa dari Badan Pengembangan Sumberdaya Manusia Pertanian Departemen Pertanian.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan hidayah dan berkah Nya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis yang berjudul : “Keanekaragaman Cendawan Entomopatogen pada Rhizosfir Kakao dan Patogenesitasnya Terhadap Hama Penggerek Buah Kakao, *Conopomorpha cramerella* Snellen (Lepidoptera; Gracilliriidae)”.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Dr. Ir.Trizelia, MSi. selaku ketua komisi pembimbing dan Bapak Dr.Ir.Yaherwandi, MSi. selaku anggota komisi pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan masukan selama pelaksanaan penelitian serta penulisan tesis.

Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Kepala BPTP Kalbar, Bapak Dirjenbun, serta Bapak Kepala Pusbangdiktan atas izin dan kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk mengikuti Program Magister (S2) di Universitas Andalas Padang. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Ibu Ketua Program Studi serta Bapak/Ibu Dosen di Program Studi HPT.

Dengan rasa tulus penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada kedua orang tua dan seluruh keluarga yang selalu mendoakan dan memberikan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan studi ini. Selanjutnya rasa bangga dan terimakasih penulis berikan kepada istri tercinta (Daryati) dan ketiga anak penulis (Dody, Devy dan Desty) atas kesetiaan, kerelaan dan pengorbanannya ditinggal berjuang sendiri selama penulis melaksanakan studi. Pada kesempatan ini penulis juga tak lupa mengucapkan terimakasih kepada rekan-rekan penulis seangkatan yang telah dengan setia secara bersama-sama saling bantu-membantu dalam menyelesaikan studi ini.

Akhirnya, semoga semua orang-orang yang berbudi luhur tersebut yang telah banyak membantu penulis diberikan ganjaran pahala oleh Allah SWT dan penulis berharap tesis ini dapat bermanfaat bagi kita bersama. Amin.

Padang, Juli 2009

Hamdani

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	4
1.3. Manfaat	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Hama Penggerek Buah Kakao (PBK)	5
2.1.1. Sistematika dan morfologi	5
2.1.2. Karakteristik biologis	6
2.1.3. Tanaman inang	8
2.1.4. Gejala serangan dan kerusakan	8
2.1.5. Pengendalian	9
2.2. Cendawan Entomopatogen	10
2.2.1. <i>Beauveria bassiana</i>	17
2.2.2. <i>Metarhizium sp</i>	19
2.2.3. <i>Spicaria sp</i>	21
2.2.4. <i>Verticillium sp</i>	21
2.2.5. <i>Fusarium sp</i>	22
2.2.6. <i>Aspergillus sp</i>	23
2.2.7. <i>Penicillium sp</i>	25
III. BAHAN DAN METODE	
3.1. Tempat dan Waktu	26
3.2. Bahan dan Alat	26
3.3. Metode Penelitian	26
Tahap I Keanekaragaman Cendawan Entomopatogen	26

Tahap II Identifikasi dan Karakterisasi Fisiologi Cendawan	
Entomopatogen	31
Tahap III Uji Patogenesitas	33
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Kondisi Agroekosistem Kakao	38
4.2. Koleksi Cendawan Entomopatogen	39
4.3. Identifikasi Cendawan Entomopatogen	43
4.4. Karakterisasi fisiologi Isolat Cendawan Entomopatogen	48
4.4.1. Laju pertumbuhan koloni	48
4.4.2. Daya kecambah konidia	51
4.4.3. Sporulasi berbagai isolat cendawan	53
4.4.4. Uji patogenesitas	55
4.4.5. Persentase imago yang terbentuk	73
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	77
5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	87

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1. Deskripsi lokasi penelitian untuk pengambilan sampel tanah	27
4.1. Rata-rata sporulasi larva <i>T.molitor</i> terinfeksi cendawan entomopatogen dengan teknik perangkap serangga (<i>insect baiting methode</i>)	39
4.2. Rata-rata persentase pertumbuhan cendawan <i>B.bassiana</i> dari sampel tanah pada medium Selektif (DOC-2)	39
4.3. Hasil koleksi cendawan entomopatogen dari rhizosfir tanaman kakao	40
4.4. Rata-rata suhu udara, kelembaban udara, suhu tanah, kelembaban tanah, dan pH tanah pada lokasi pengambilan sampel tanah	41
4.5. Karakterisasi morfologi cendawan entomopatogen pada media SDAY (14 Hsi)	43
4.6. Rata-rata diameter koloni cendawan entomopatogen pada media SDAY 1 – 20 hsi.	49
4.7. Rata-rata persentase daya kecambah (viabilitas) berbagai isolat cendawan entomopatogen	53
4.8. Jumlah konidia yang diproduksi beberapa isolat cendawan entomopatogen (15 hsi)	54
4.9. Mortalitas <i>C.cramerella</i> setelah aplikasi cendawan entomopatogen dengan konsentrasi 10^8 (8 hsi)	55
4.10. Rata-rata sporulasi cendawan entomopatogen pada tubuh <i>C.cramerella</i>	68
4.11. Rata-rata persentase imago yang terbentuk setelah aplikasi cendawan entomopatogen	74



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1. Mekanisme infeksi cendawan entomopatogen pada tubuh serangga	15
3.1. Isolasi cendawan entomopatogen dengan teknik perangkap serangga (<i>insect baiting methode</i>)	29
3.2. Isolasi cendawan entomopatogen dengan medium selektif (DOC-2)	29
3.3. Diagram alir kegiatan penelitian	37
4.1. Kondisi agroekosistem tanaman kakao (a) perkebunan kakao di Padang Pariaman dengan pelindung kelapa dan (b) perkebunan kakao di Solok dengan pelindung berupa tanaman hutan (surian, gamal dan keminting)	38
4.2. Morfologi koloni dan struktur cendawan <i>Beauveria</i> (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi) dan (b) struktur cendawan, konidia dan hifa (tanda panah) (perbesaran 400 x)	44
4.3. Morfologi koloni dan struktur cendawan <i>Metarhizium</i> (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi), (b) konidiofor dan (c) rantai konidia (perbesaran 400 x)	45
4.4. Morfologi koloni dan struktur cendawan <i>Fusarium</i> (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi), (b) makrokonidia dan (c) klamidospora (perbesaran 400 x)	46
4.5. Morfologi koloni dan struktur cendawan <i>Aspergillus</i> (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi), (b) konidia berbentuk bulat dan hialin (perbesaran 400 x)	46
4.6. Morfologi koloni dan struktur cendawan <i>Paecilomyces</i> (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi), (b) konidiofor (perbesaran 400 x)	47
4.7. Morfologi koloni dan struktur cendawan <i>Penicillium</i> (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi), (b) konidiofor muncul dengan hifa tunggal (tanda panah) didekat ujung konidiofor terbentuk percabangan seperti sapu (perbesaran 400 x)	48
4.8. Rata-rata pertumbuhan koloni/hari masing-masing isolat cendawan entomopatogen sampai 20 hsi.....	50
4.9. Perkecambahan cendawan <i>Metarhizium</i> (isolat MetP3) 18 Jsi (a) konidia dan (b) tabung kecambah (perbesaran 400x)	52

4.10. Mortalitas harian <i>C.cramerella</i> setelah perlakuan dengan berbagai isolat cendawan entomopatogen	58
4.11. Nilai LT ₅₀ berbagai jenis cendawan entomopatogen pada kegiatan uji patogenesisitas.....	66
4.12. Kolonisasi cendawan <i>Metarhizium</i> pada tubuh <i>C.cramerella</i> (a) prapupa sehat, (b) kolonisasi umur 3 hsi dan (c) pada 8 hsi kolonisasi mencapai 100%.	69
4.13. Kolonisasi cendawan <i>Beauveria</i> pada tubuh <i>C.cramerella</i> (a) prapupa sehat, (b) kolonisasi umur 2 hsi dan (c) pada 8 hsi kolonisasi mencapai 88,75 %.	70
4.14. Kolonisasi cendawan <i>Fusarium</i> pada tubuh <i>C.cramerella</i> (a) parapupa sehat, (b) kolonisasi umur 5 hsi dan (c) 8 hsi dengan tingkat kolonisasi mencapai 75 %.	71
4.15. Kolonisasi cendawan <i>Aspergillus</i> pada tubuh <i>C.cramerella</i> (a) parapupa sehat, (b) kolonisasi umur 3 hsi dan (c) 8 hsi kolonisasi mencapai 96,25 %.	71
4.16. Kolonisasi cendawan <i>Penicillium</i> pada tubuh <i>C.cramerella</i> (a) prapupa sehat, (b) kolonisasi umur 3 hsi dan (c) 8 hsi kolonisasi mencapai 88,75 %	72
4.17. Kolonisasi cendawan <i>Paecilomyces</i> pada tubuh <i>cramerella</i> (a) prapupa sehat, (b) kolonisasi umur 3 hsi dan (c) 8 hsi kolonisasi mencapai 72,5 %	73
4.18. Imago <i>C.cramerella</i> yang muncul setelah diinokulasi dengan <i>Beauveria</i> (isolat BbP1) (a) imago pada kontrol tumbuh sehat dan (b) imago abnormal setelah perlakuan.	75
4.19 Imago <i>C.cramerella</i> mati terinfeksi oleh cendawan <i>Metarhizium</i> (isolat MetP3), (a) umur 6 hsi dan (b) umur 8 hsi	75

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Sidik ragam rata-rata <i>Tenebrio molitor</i> terinfeksi cendawan entomopatogen	87
2. Sidik ragam rata-rata pertumbuhan cendawan <i>B.bassiana</i> pada medium selektif (DOC-2)	87
3. Sidik ragam rata-rata pertumbuhan koloni cendawan entomopatogen pada media SDAY 20 hsi	87
4. Sidik ragam rata-rata persentase daya kecambah (viabilitas) berbagai isolat cendawan entomopatogen	87
5. Sidik ragam rata-rata jumlah konidia (sporulasi) berbagai isolat cendawan entomopatogen	87
6. Sidik ragam mortalitas prapupa <i>C.cramerella</i> 8 hari setelah aplikasi cendawan entomopatogen	88
7. Teknik perbanyakan <i>Tenebrio molitor</i> (Coleoptera; Tenebrionidae)....	88
8. Komposisi medium perbanyakan cendawan entomopatogen.....	88
9. Metode pengambilan sampel bertingkat (<i>Stratified sampling</i>)	89

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kakao (*Theobromae cacao* L) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peranan cukup penting bagi perekonomian nasional, khususnya sebagai sumber pendapatan dan devisa negara. Perkebunan kakao Indonesia mengalami perkembangan pesat sejak tahun 1980. Luas areal tanaman kakao di Indonesia pada tahun 2007 mencapai 1,19 juta ha. dengan total produksi mencapai 779,5 ribu ton. Dari luas areal tersebut 92,9 % adalah perkebunan rakyat (Ditjenbun, 2008).

Pemerintah Sumatera Barat melalui Dinas Perkebunan Sumatera Barat telah menargetkan luas tanaman kakao mencapai ± 100.000 ha pada tahun 2010. Sampai dengan akhir tahun 2008 luas kebun kakao di Sumatera Barat telah mencapai ± 61.675 ha yang tersebar di hampir semua kabupaten/kota. Sentra produksi saat ini adalah kabupaten Pasaman, Pasaman Barat, Padang Pariaman, Agam, Lima Puluh Kota dan Solok (Disbun Sumbar, 2008)

Perkembangan agribisnis kakao di Indonesia, termasuk di Sumatera Barat masih menghadapi berbagai masalah terutama dari aspek budidaya (*on farm*). Hal ini terlihat dari rendahnya produktivitas yaitu sebesar 800 kg/ha/tahun, sedangkan potensi genetiknya bisa mencapai 1,7 - 2 ton/ha/tahun. Salah satu penyebabnya adalah karena serangan hama dan penyakit (Hindayana *et al.*, 2002; Darwis, 2004; Disbun Sumbar, 2008).

Jenis serangga hama yang menyerang tanaman kakao di Indonesia jumlahnya sangat banyak. Menurut Entwistel (1972) terdapat lebih 130 spesies

serangga yang berasosiasi dengan tanaman kakao. Hama utama pada tanaman kakao di Sumatera Barat adalah penggerek buah kakao (PBK), *Conopomorpha cramerella* Snell (Lepidoptera: Gracillariidae), kepik pengisap buah, *Helopeltis antonii* Sign (Hemiptera: Miridae) dan hama tupai (Disbun Sumbar, 2008).

C.cramerella dapat menurunkan hasil panen sampai 82,2 % (Wardoyo, 1982 dan Madry, 1994). Depparaba *et al.*, (2002) melaporkan bahwa *C.cramerella* juga dapat menurunkan kualitas hasil panen akibat menurunnya mutu fisik biji, meningkatnya kandungan sampah dan kandungan kulit ari, serta menurunnya rendemen dan berat jenis biji kakao. Sampai dengan akhir tahun 2008, areal perkebunan kakao di Sumatera Barat yang terserang *C.cramerella* telah mencapai 792,7 ha dengan nilai kerugian sebesar Rp 1.635.078.420,- (Disbun Sumbar, 2008).

Secara umum pengendalian hama yang dilakukan petani swadaya dan perkebunan swasta adalah menggunakan pestisida sintetik. Penggunaan pestisida secara terus menerus akan menimbulkan masalah yang lebih berat yaitu terbunuhnya musuh alami, terjadinya resurgensi, peledakan hama skunder, dan pencemaran lingkungan (Rauf *et al.*, 2000). Untuk itu, perlu dicari alternatif pengendalian yang dapat mengurangi dampak negatif pestisida tersebut. Program pengendalian hama terpadu (PHT) didesain untuk menyediakan pengendalian hama yang ramah lingkungan dan berkelanjutan karena PHT bertujuan membatasi penggunaan pestisida sesedikit mungkin tetapi sasaran kualitas dan kuantitas produksi masih dapat dicapai (Sastrosiswoyo dan Oka, 1997 ; Habazar dan Yaherwandi, 2006). Dalam strategi pengendalian hama terpadu (PHT), pemanfaatan potensi musuh alami mempunyai peranan penting dalam menekan kelimpahan populasi hama. Diantara

musuh alami yang dapat dimanfaatkan untuk pengendalian *C.cramerella* secara hayati adalah cendawan entomopatogen.

Peluang keberhasilan pengendalian hama menggunakan cendawan entomopatogen pada pertanaman kakao cukup besar. Tanaman kakao umumnya diusahakan dibawah pohon penaung sehingga kelembaban relatif di dalam tajuk tanaman cukup tinggi tetapi intensitas cahaya (UV) cukup rendah. Kondisi lingkungan yang demikian diperlukan untuk terjadinya epidemi cendawan entomopatogen (Junianto dan Sulistyowati, 2000).

Pemanfaatan cendawan entomopatogen untuk pengendalian *C.cramerella* di tingkat lapangan dapat dilakukan dengan memanfaatkan cendawan entomopatogen yang sudah ada di ekosistem setempat (indigenus) maupun dengan memasukan patogen kedalam ekosistem dari luar melalui teknik introduksi dan inundasi. Pemanfaatan patogen indigenus yang sudah ada di ekosistem setempat merupakan taktik pengendalian utama dalam PHT. Dari beberapa hasil penelitian, pemanfaatan agen pengendali hayati akan lebih berhasil yang indigenus dibanding introduksi maka diperlukan eksplorasi cendawan entomopatogen di rhizosfir kakao.

Langkah awal yang sangat diperlukan dalam program pemanfaatan dan pengembangan cendawan entomopatogen sebagai agen pengendali hayati *C.cramerella* adalah mengetahui keberadaan alami cendawan tersebut pada agroekosistem. Menurut Lezama-Gutierrez *et al.*, (2001) keberadaan, keanekaragaman dan distribusi cendawan entomopatogen akan bervariasi tergantung pada habitat, lokasi, geografis, kondisi lingkungan, jenis tanaman dan praktek budidaya. Secara umum hasil penelitian menunjukan bahwa keanekaragaman cendawan entomopatogen lebih tinggi pada ekosistem alami dibandingkan dengan

ekosistem pertanian (Barker dan Barker, 1998). Sampai saat ini telah diketahui sekitar 1000 jenis cendawan yang bersifat patogen pada serangga (Bidochka *et al.*, 2000). Beberapa jenis cendawan entomopatogen yang mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai agen pengendali hayati hama *C.cramerella* adalah *Acrostalagmus* sp., *Beauveria bassiana*, *Penicillium* sp., *Verticillium* sp., *Fusarium* sp., *Spicaria* sp. dan *Paecilomyces fumosoroseus* (Sulistyowati dan Junianto, 1995; Sulistyowati, 2003).

Hingga saat ini informasi dasar tentang keberadaan dan keanekaragaman jenis cendawan entomopatogen yang berada di dalam tanah pada rhizosfir kakao di Sumatera Barat masih sangat terbatas. Oleh karena itu penelitian tentang keanekaragaman cendawan entomopatogen pada rhizosfir kakao dan patogenesisitasnya terhadap *C.cramamerella* sangat diperlukan.

1.2. Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui keanekaragaman jenis cendawan entomopatogen yang berada pada rhizosfir tanaman kakao di lokasi yang berbeda.
- b. Mempelajari patogenesisitas cendawan entomopatogen terhadap *C.cramerella*.

1.3. Manfaat penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi baru tentang keanekaragaman cendawan entomopatogen yang berada pada rhizosfir tanaman kakao. Selanjutnya diperoleh jenis cendawan entomopatogen yang virulen dan efektif sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bioinsektisida untuk pengendalian *C.cramerella*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hama Penggerek Buah Kakao (PBK)

2.1.1. Sistematika dan Morfologi

Penggerek buah kakao (PBK) telah beberapa kali berganti nama ilmiah. Menurut Wessel (1983) pada tahun 1902 Zehntner memberi nama *Zaratha cramerella* Zr, kemudian Snellen memberi sebutan *Gracilaria cramerella*, *Acrocercops cramerella* Snellen dan terakhir dengan sebutan *Conopomorpha cramerella* (Lepidoptera, Gracillariidae).

Karakteristik morfologis *C.cramerella* menurut Sulistyowati (1993) sebagai berikut : **Stadia telur.** Telur yang baru keluar berwarna oranye, berbentuk oval agak pipih dengan panjang 0,45 – 0,50 mm dan lebar 0,25 – 0,30 mm, diletakan satu persatu pada kulit buah kakao. **Stadia larva.** Larva yang baru menetas dari telur berwarna putih transparan dengan panjang sekitar 1 mm. Dalam kondisi pertumbuhan penuh, panjang larva mencapai 12 mm dan berwarna putih kotor sampai hijau muda. **Stadia kepompong (pupa).** Kepompong dilapisi oleh kokon yang berbentuk oval, berwarna kuning kotor dengan panjang 13 – 18 mm dan lebar 6 – 9 mm. Kepompong berwarna coklat dengan panjang 6 – 7 mm dan lebar 1,0 – 1,5 mm. **Stadia Imago.** Serangga dewasa *C.cramerella* berupa ngengat (moth) berukuran kecil, lembut sehingga terbang tidak jauh (Wardoyo, 1994 ; Wessel, 1983). Panjang ngengat saat beristirahat sekitar 7 mm. Ngengat memiliki warna dasar coklat dengan warna putih berpola zig zag disepanjang sayap depan serta berakhir pada spot berwarna kuning oranye

berpola batik diujung sayap. Ukuran antena lebih panjang dari pada sayap dan tubuh ngengat, serta mengarah kebelakang.

2.1.2. Karakteristik biologis

Telur diletakan satu persatu pada permukaan buah terutama pada bagian yang beralur. Semakin besar ukuran buah (lebih besar dari 8 cm) maka besar pula peluang diteluri. Lama stadium telur 2 – 7 hari. Menurut Wardoyo (1994) buah yang berukuran 5 – 7 cm dan yang sangat muda tidak pernah diteluri.

Larva yang baru menetas langsung menggerek kedalam buah dan makan permukaan dalam kulit buah, daging buah dan saluran makanan ke biji (*placenta*). Lama stadium larva 14 – 18 hari dan terdiri dari 4 – 6 instar. Menjelang menjadi kepompong (pupa), larva membuat lubang keluar dari kulit buah dengan diameter 1 mm. Segera setelah larva berada di luar buah, larva tersebut akan merayap dipermukaan buah atau menjatuhkan diri dengan pertolongan benang sutera untuk melekat pada buah lainnya atau pada daun, cabang, batang dan serasah di atas tanah. Sebelum menjadi kepompong larva terlebih dahulu memintal benang sutera untuk tempat membuat rumah kepompong (kokon). Sulistyowati (2001) melaporkan bahwa larva prapupa juga dapat melekat dan berkepompong pada bahan apa saja yang ada di kebun seperti gulma, karung, keranjang, kotak tempat buah segar, bahkan dikendaraan yang digunakan untuk mengangkut hasil panen. Lama stadium kepompong 5 – 8 hari.

Ngengat aktif terbang, kawin dan meletakan telur pada malam hari, yaitu sejak pukul 18.00 – 07.00 dengan puncaknya pada pukul 04.00 – 05.00 (Lim dan Pan, 1986). Kondisi cuaca yang sesuai bagi ngengat untuk bertelur adalah pada

curah hujan 100 – 200 mm/bulan (Depparaba, 2002). Pada siang hari, ngengat bersembunyi ditempat yang terlindung dari sinar matahari yaitu dibagian bawah cabang horizontal. Dilaporkan juga oleh Sulistyowati *et al.* (1995), bahwa 63,43% imago *C.cramerella* menyukai cabang horizontal yang berdiameter 5,1 – 10 cm sebagai tempat beristirahat, serta tidak menyukai cabang horizontal dengan diameter 0,5 cm dan yang lebih besar dari 20 cm.

Ngengat *C.cramerella* tidak mampu terbang jauh dengan arah terbang yang tidak menentu. Seekor serangga jantan hanya mampu terbang sejauh 153 m dilapangan terbuka, tetapi jika dilakukan penangkapan menggunakan feromonsek, ngengat jantan mampu terbang sejauh 800 m (Sulistyowati, 2001). Ngengat betina meletakan telur hanya dipermukaan buah kakao. Buah kakao yang paling disukai untuk tempat meletakan telur adalah yang memiliki alur dalam pada permukaannya dan panjang buah lebih besar dari 8 cm. Lama hidup ngengat betina 5 – 8 hari dan mampu menghasilkan telur sebanyak 100 – 200 butir.

Perkembangan penggerek buah kakao (*C.cramerella*) sejak telur diletakan sampai mencapai stadium dewasa memerlukan waktu 27 – 33 hari (Sulistyowati, 2001)

2.1.3. Tanaman Inang

Serangga *C.cramerella* adalah “ras biologis” dari *Conopomorpha cramerella* Snell dan telah berhasil beradaptasi pada buah kakao setelah memisah dari populasi asalnya yang hidup pada buah rambutan (*Nephelium lappaceum*), Nam nam (*Cynometa caulifora*), Kasai (*Pometia pinnata*), Pulasan (*Nephelium mutabile*), Langsat (*Lansium domesticum*) dan mata kucing (*Nephelium malainse*)

(Sulistyowati, 2001). Ras biologis dari *C.cramerella* hanya bisa berkembang pada buah kakao (Sulistyowati *et al.*, 1993). Telah dilaporkan juga oleh Wardoyo (1981) bahwa *C.cramerella* yang menyerang tanaman kakao tidak dapat menyerang tanaman lain, demikian pula sebaliknya

2.1.4. Gejala serangan dan kerusakan

Serangan *C.cramerella* umumnya terjadi pada buah kakao yang masih muda dengan panjang lebih besar dari 8 cm dan dapat terus berkembang seolah-olah tidak terjadi serangan. Kondisi ini menyebabkan sulitnya untuk mengetahui tingkat serangan dini karena tidak ada perbedaan antara buah terserang dan buah kakao sehat (Sulistyowati, 2001). Gejala baru tampak dari luar setelah matang dimusim panen, buah kakao yang terserang berwarna agak jingga atau pucat keputihan, buah menjadi lebih berat dan bila diguncang tidak terdengar suara ketukan antara biji dengan dinding buah. Hal ini terjadi karena timbulnya lendir dan kotoran pada daging buah dan rusaknya biji-biji di dalam buah. Menurut Wardoyo (1994), kerusakan pada pulp mengakibatkan biji saling melekat dan juga melekat pada dinding buah. Kerusakan plasenta dapat menyebabkan semua biji rusak dan tidak berkembang. Jaringan buah yang telah rusak tersebut menimbulkan perubahan fisiologis pada kulit buah sehingga buah tampak hijau berbelang merah atau jingga.

Larva *C.cramerella* memakan daging buah dan saluran makanan yang menuju biji (plasenta), tetapi tidak menyerang biji. Kerusakan yang ditimbulkan oleh larva *C.cramerella* berupa rusaknya biji, mengeriputnya biji dan timbulnya warna gelap pada kulit biji (Wardoyo, 1981). Sulistyowati (1993) melaporkan jika buah kakao terserang *C.cramerella* dibelah, daging buahnya akan tampak

berwarna hitam, biji-biji melekat satu sama lain dengan warna hitam, keriput dan ringan. Menurut Tan *et al.* (1988), kerusakan daging buah akibat serangan *C.cramerella* disebabkan oleh enzim heksokinase, malate dehidrogenase, fluorescent esterase dan malic enzyme polymorphisms yang disekresikan oleh larva *C.cramerella*.

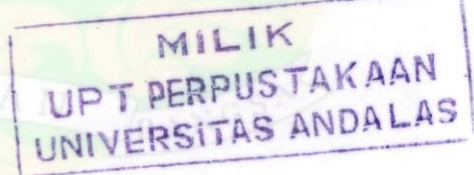
Akibat serangan hama ini kerugian yang ditimbulkannya bisa mencapai 80% biji kering. Kerugian ini merupakan akibat dari turunnya berat dan mutu produk serta meningkatnya biaya prosesing karena pemisahan biji sehat dari biji yang rusak memerlukan waktu lama (Sulistyowati, 2003).

2.1.5. Pengendalian

C.cramerella adalah hama penting dalam usaha pertanaman kakao yang sulit dideteksi dan sulit dikendalikan. Karena itu, untuk menanggulangi *C.cramerella* perlu dilakukan dengan berbagai cara yang merupakan satu paket penanggulangan yang penentuannya didasarkan pada tingkat serangan dan keadaan tanaman kakao. Menurut Sulistyowati (2003), tindakan pengendalian terpadu *C.cramerella* terbagi menjadi dua, yaitu untuk daerah bebas dan daerah yang terserang *C.cramerella* :

2.1.5.1. Daerah bebas *C.cramerella*

Daerah yang masih bebas dari serangan *C.cramerella* disarankan melakukan pencegahan dengan melaksanakan karantina dan monitoring *C.cramerella*. Sebagai strategi penanggulangan *C.cramerella* secara nasional, pelaksanaan karantina sebaiknya memenuhi standar peraturan domestik dan internasional. Tindakan karantina tersebut antara lain tidak memasukan bahan



tanaman kakao dari daerah terserang *C.cramerella*, tidak mengizinkan masuknya kendaraan atau bahan-bahan yang dapat dihindari oleh *C.cramerella* dari daerah terserang, membatasi lalu lintas manusia dan kendaraan dari dan ke daerah terserang *C.cramerella*, serta memeriksa ada tidaknya *C.cramerella* di kendaraan atau manusia yang memasuki kebun.

Dalam penerapan konsep pengendalian hama terpadu dengan monitoring, terdapat tiga kegiatan pokok yang harus dilakukan yaitu pengamatan, pengambilan keputusan dan pelaksanaan pengendalian. Kegiatan tersebut merupakan satu kesatuan yang harus dilaksanakan secara berkesinambungan.

2.1.5.2. Daerah serangan *C.cramerella*.

Untuk daerah serangan *C.cramerella*, teknik pengendalian yang dapat dilakukan meliputi : pemangkasan bentuk, metode panen sering, sanitasi, penjarangan buah, pengendalian secara hayati dengan memanfaatkan agen hayati yaitu parasitoid, predator dan patogen serangga. Selain itu jika serangan sudah berada diatas ambang ekonomi dapat dilakukan dengan penyemprotan insektisida secara bijaksana.

2.2. Cendawan Entomopatogen

Agen pengendali hayati adalah setiap organisme yang meliputi spesies, sub spesies, varietas, semua jenis serangga, nematoda, protozoa, jamur (fungi), bakteri, virus, mikoplasma serta semua organisme lainnya yang dalam semua tahap perkembangannya dapat dipergunakan untuk tindakan pengendalian hama dan penyakit atau organisme pengganggu dalam proses produksi, pengolahan hasil pertanian dan berbagai keperluan (Mardinus, 2006). Agen hayati yang

dapat dimanfaatkan untuk pengendalian hama pada buah kakao meliputi parasitoid, predator dan patogen serangga.

Banyak jenis patogen yang menyerang serangga, ada patogen yang bersifat spesifik (menyerang hanya satu jenis serangga) ada juga patogen yang bersifat umum dan dapat menyerang banyak jenis serangga (Hindayana *et al.*, 2002). Beberapa jenis patogen yang dapat membunuh serangga hama tersebut diantaranya dari golongan cendawan (fungi), virus, bakteri, protozoa dan nematoda.

Cendawan entomopatogen adalah jenis cendawan yang berasosiasi dengan serangga dan arthropoda lainnya yang dapat menyebabkan sakit dan kematian pada serangga. Cendawan jenis ini umumnya bersifat sebagai patogen obligat dan fakultatif. Keanekaragaman jenis cendawan entomopatogen sangat luas dan adanya keragaman spesies ditunjukkan oleh adanya perbedaan patogenesisitas (Trizelia, 2005).

Cendawan entomopatogen merupakan salah satu agen hayati yang potensial untuk mengendalikan hama antara lain hama penggerek buah kakao (Junianto dan Sulistyowati, 2000), belalang *Locusta migratoria* (Hantoro, 2006) atau hama penggerek bonggol pisang (Nankinga dan Latigo, 1996; Hasyim dan Azwana, 2003). Pemanfaatan cendawan entomopatogen di Indonesia mulai berkembang pesat sejak abad ke 19. Di luar negeri penelitian tentang distribusi dan keanekaragaman jenis cendawan entomopatogen yang berasosiasi dengan serangga dan di dalam tanah telah banyak dilaporkan. Hasil penelitian Balogun dan Fagade (2004) menunjukkan bahwa 76% dari populasi hama *Zonocerus*

variegates (L) (Orthoptera) terinfeksi oleh cendawan dan yang paling banyak menginfeksi adalah *Beauveria bassiana* (18%) dan *Metarhizium sp* (20%).

Di Indonesia, inventarisasi musuh alami terutama cendawan entomopatogen yang berasosiasi dengan *C.cramerella* belum banyak dilakukan. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Sulistyowati dan Junianto (1995) di kabupaten Halmahera dan Maluku Utara ditemukan bahwa pupa *C.cramerella* telah terinfeksi secara alami oleh beberapa jenis cendawan entomopatogen yaitu *Beauveria bassiana*, *Acrostalagmus sp.*, *Penicillium sp.*, *Verticillium sp.*, *Fusarium sp.*, dan *Spicaria sp.*

Setidaknya ada tiga cara pemanfaatan cendawan entomopatogen dalam strategi pengendalian hama terpadu (PHT) yaitu aplikasi inundatif, pelepasan inokulatif dan pengelolaan cendawan entomopatogen yang terdapat secara alami (Habazar dan Yaherwandi, 2006). Secara alami, khususnya di ekosistem pertanian keberadaan cendawan entomopatogen dipengaruhi oleh beberapa faktor biotik dan abiotik termasuk cara budidaya (olah tanah dan tanpa olah tanah). Disamping itu, faktor lain yang mempengaruhi keanekaragaman cendawan dalam tanah adalah kandungan air tanah, tingginya kandungan bahan organik tanah dan temperatur yang rendah (Sosa-Gomez *et al.*, 2001).

Selanjutnya dilaporkan oleh Sapiha-Waszkiewicz *et al.*, (2005) bahwa keberadaan cendawan entomopatogen di dalam tanah tergantung pada habitat. Tanah pertanaman anggur yang tidak diaplikasi dengan pestisida memiliki cendawan entomopatogen yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah pertanaman anggur yang diaplikasi dengan pestisida. Tipe habitat juga sangat mempengaruhi populasi cendawan entomopatogen di dalam tanah. Tanah

padang rumput memiliki populasi cendawan entomopatogen paling tinggi dibandingkan dengan tanah hutan ataupun tanah pertanian. Cendawan entomopatogen *B.bassiana* dan *M.anisopliae* lebih sering ditemukan pada tanah padang rumput dibandingkan dengan tanah hutan dan tanah pertanian, sedangkan *Paecilomyces cf cicadae* hanya ditemukan pada tanah hutan (Barker dan Barker, 1998). Dikemukakan juga oleh Ali-Shatayeh *et al.*, (2003) bahwa kandungan bahan organik tanah dan tipe vegetasi berpengaruh nyata terhadap keberadaan cendawan entomopatogen di dalam tanah.

Lokasi dan ketinggian tempat juga mempengaruhi keberadaan cendawan entomopatogen di dalam ekosistem. Hasil penelitian Molina-Ochoa (2003) menunjukkan bahwa cendawan entomopatogen *N.rileyi* tersebar pada seluruh lokasi pengambilan sampel di Meksiko (64 lokasi) dan 68,02% larva *S.frugiperda* juga terinfeksi oleh cendawan *hirsutela* dan hanya terdapat pada satu lokasi. Dari tanah pertanian dimana hama ini menyerang ditemukan dua jenis cendawan entomopatogen yaitu *B. bassiana* dan *M.anisopliae*.

Kemampuan cendawan entomopatogen dalam mematikan serangga hama bervariasi dan sangat dipengaruhi oleh karakter fisiologi dan genetik cendawan (Trizelia, 2005). Mekanisme infeksi pada serangga oleh cendawan entomopatogen melalui 4 tahapan (Prayogo *et al.*, 2005). Tahap pertama proses infeksi adalah inokulasi, yaitu terjadinya kontak antara propagul cendawan dan tubuh serangga. Mekanisme infeksi dimulai dengan penempatan konidia pada kutikula, mulut dan trakea serangga.

Tahap selanjutnya adalah proses penempelan dan perkecambahan propagul cendawan pada integumen serangga. Pada tahap ini kelembaban yang tinggi dan

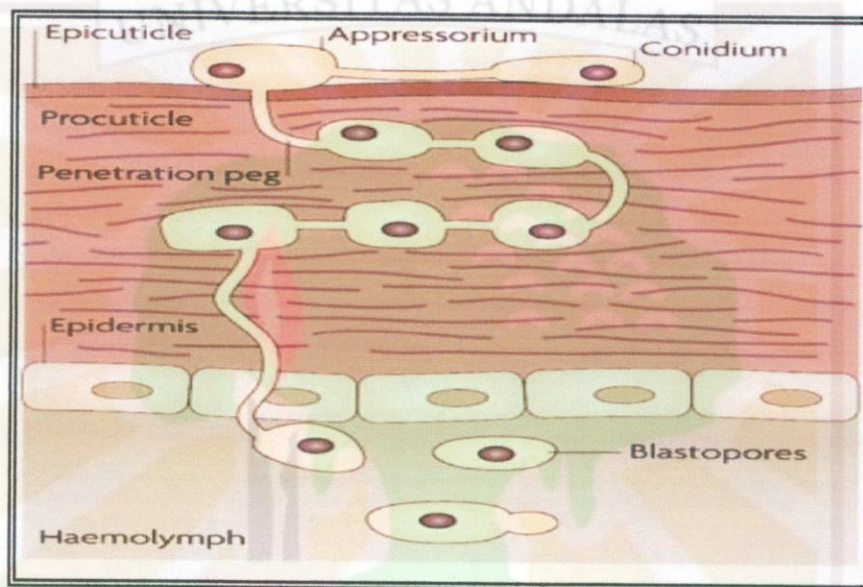
adanya air sangat dibutuhkan untuk perkecambahan propagul cendawan dan biasanya cendawan akan memanfaatkan senyawa-senyawa yang terdapat pada integumen (Prayogo *et al.*, 2005; Nuraida, 2007).

Tahap ketiga adalah masuknya cendawan kedalam tubuh serangga melalui kutikula diantara segmen-segmen tubuh. Konidia akan berkecambah membentuk tabung-tabung kecambah. Apresorium mulai dibentuk untuk menembus epikutikula, berlangsung secara mekanis atau secara kimia dengan bantuan enzim dan toksin (Bidochka *et al.*, 2000).

Tahap terakhir adalah proses mematikan serangga (destruksi) yaitu terbentuknya hifa yang menembus epidermis hingga mencapai pembuluh haemolimpha kemudian menyerang jaringan lainnya (Tanada dan Kaya, 1993; Prayogo *et al.*, 2005). Serangan berikutnya, cendawan akan menginfeksi saluran pencernaan dan sistem pernapasan yang mengakibatkan serangga mati. Wiryadiputra *et al.* (1993) mengemukakan bahwa mekanisme infeksi umumnya berlangsung 1 - 2 hari pada kondisi lingkungan yang sesuai. Penetrasi dibantu oleh enzim khitinase, lipase dan protease serta racun dari golongan destruktin, beauverisin atau mikotoksin yang mengganggu produksi energi dan protein. Toksin tersebut akan mengakibatkan gerakan serangga menjadi lambat, perilaku yang tidak tenang, kejang-kejang dan akhirnya mati. Setelah serangga mati akan terbentuk kladospore di dalam tubuh serangga (Tanada dan Kaya, 1993; Prayogo *et al.*, 2005). Secara skematis mekanisme infeksi cendawan entomopatogen pada tubuh serangga dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Jumlah konidia yang diinokulasikan, keadaan suhu dan kelembaban lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan cendawan merupakan faktor yang

sangat menentukan tingkat kematian serangga sasaran oleh cendawan entomopatogen (Prayogo *et al.*, 2005). Menurut pendapat Junianto dan Sulistyowati (1995), selain faktor tersebut diatas keefektifan cendawan entomopatogen sangat bersifat spesifik lokasi yaitu ditentukan oleh asal inang dan lokasi ditemukannya isolat tersebut.



Gambar 2.1. Mekanisme infeksi cendawan entomopatogen pada tubuh serangga (Sumber : Bidochka *et al.*, 2000))

Serangga yang terinfeksi cendawan entomopatogen akan menunjukkan gejala awal berupa perubahan tingkah laku yaitu tidak mau makan, kurang orientasi dan lemah. Beberapa jam kemudian serangga berubah warna dan pada kutikula tempat masuknya cendawan terlihat bercak berwarna hitam (Wiryadiputra *et al.*, 1993). Pada kondisi lingkungan yang mendukung, dibagian tubuh serangga yang terinfeksi akan muncul miselia. Miselia terlihat keluar dari bagian alat tambahan (*appendages*) yang lunak seperti diantara segmen-segmen

antena, segmen kepala dengan toraks, atau antara segmen toraks dengan abdomen (Prayogo *et al.*, 2005).

Beberapa hari kemudian seluruh permukaan tubuh serangga yang terinfeksi ditutupi oleh masa cendawan yang berwarna putih (Tanada dan Kaya, 1993) dan setelah 24 jam koloni cendawan akan mengalami perubahan warna sesuai dengan jenis cendawan yang menyerang tubuh serangga (Strack, 2003). Pada umumnya semua jaringan dan cairan tubuh serangga habis digunakan oleh cendawan entomopatogen, sehingga tubuh mati dengan tubuh yang mengeras seperti mummi (Prayogo *et al.*, 2005). Apabila keadaan kurang mendukung, perkembangan cendawan hanya berlangsung di dalam tubuh serangga tanpa keluar menembus integumen. Pada kondisi ini cendawan akan membentuk struktur khusus yang disebut *arthrospora* (Ferron, 1985).

Cendawan entomopatogen dapat bertahan dalam tanah dalam bentuk spora istirahat selama beberapa tahun dan dalam bentuk miselia atau konidia untuk beberapa bulan (Papierok dan Hajek, 1997). Pada kerapatan inang rendah atau kondisi lingkungan tidak menguntungkan, cendawan ini bisa bertahan dalam tanah sebagai konidia atau miselia *saprobs*. Apabila serangga inang tersedia kembali siklus infeksi akan terjadi (Boucias dan Pendland, 1998).

Cendawan entomopatogen yang sering berinteraksi dan dapat menyerang serangga *C.cramerella* menurut Sulistyowati dan Junianto (1995) adalah : *Beauveria bassiana*, *Spicaria* sp, *verticillium* sp. *Penicillium* sp dan *Fusarium* sp.

2.2.1. *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill.

Beauveria (kelas Hypomycetes) merupakan salah satu cendawan entomopatogen yang sangat potensial dalam pengendalian beberapa serangga hama (Trizelia, 2005; Soetopo dan Indrayani, 2007). Cendawan ini dilaporkan sebagai agen hayati yang sangat efektif mengendalikan sejumlah spesies serangga hama termasuk rayap, kutu putih dan beberapa jenis kumbang (Gillespie, 1988), hama kedelai (*Riptortus linearis* dan *Spodoptera litura*), walang sangit pada padi (*Leptocorisa acuta*) (Prayogo, 2004), *Plutella xylostella* pada sayuran (Hardaningsih, 2001), hama bubuk buah kopi, *Hypothenemus hampei*, hama penghisap buah kakao, *Helopeltis antonii* dan penggerek buah kakao, *Conopomorpha cramerella* (Sulistiyowati dan Junianto, 2000). Umumnya strain isolat *Beauveria* yang digunakan berasal dari serangga terserang secara alami di alam. Dilaporkan oleh Hindayana *et al* (2002), cendawan *B. bassiana* umumnya ditemukan pada serangga yang hidup di dalam tanah, tetapi juga mampu menyerang serangga yang ada pada tanaman atau diatas pohon.

Cendawan *B. bassiana* berwarna putih dan biasanya terlihat jelas pada badan inang yang diserangnya. Jika dilihat dibawah mikroskop, spora jamur ini ternyata tumbuh berkelompok, sehingga menyerupai bola-bola spora. Hifanya ramping, tidak berwarna dan bersekat dengan diameter 1,5 - 2,0µm. Permukaan koloni datar seperti permukaan kapur tulis yang baru dipatahkan dengan warna putih sampai putih kecokelatan. Konidiofor tunggal berbentuk fialid, terletak pada cabang cabang utama hifa dalam kelompok. Konidia berbentuk bulat sampai bulat telur, satu sel dan tidak berwarna. Konidiofor terletak pada sterigmata yang

tersusun zig-zag setelah beberapa konidia terbentuk pada ujung fialid (Barnett dan Hunter, 1972).

Serangga terserang *B.bassiana* akan mati dalam waktu 1 – 2 minggu (Hindayana *et al*, 2002). Penyemprotan *B.bassiana* isolat Bby 725 pada buah kakao muda dan cabang horizontal mampu melindungi buah tersebut dari serangan *C.cramerella* hingga 54 – 60,5% (Junianto dan Sulistyowati, 2000). Hasil penelitian Sulistyowati (2003) dosis yang digunakan adalah 50 – 100 gram spora/ha menggunakan knapsack sprayer dengan volume semprot 250 ml/pohon atau 250 liter/ha.

Serangga setelah diinokulasi cendawan *B.bassiana* akan kehilangan nafsu makan, tidak memiliki gerakan cepat dan selanjutnya akan diikuti dengan kematian serangga. Hal ini disebabkan karena cendawan *B.Bassiana* menghasilkan toksin beauverisin yang dapat menimbulkan gangguan pada sistem syaraf serangga (Steinhouse, 1949). Suroso dan Suprpto (1999) juga menyatakan bahwa cendawan *B.bassiana* disamping menghasilkan toksin beauverisin, juga menghasilkan toksin bassianolit, isorolit dan asam oksalat yang dapat meningkatkan pH darah, penggumpalan darah, terhentinya peredaran darah serangga, kerusakan organ haemocoel, sistem syaraf serta sistem pencernaan sehingga mengakibatkan serangga mati.

Perkembangan infeksi cendawan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan terutama suhu dan kelembaban. Suhu optimum untuk pertumbuhan cendawan *B.bassiana* antara 23 – 25°C (Ferron, 1981). Walstad *et al*. (1970) melaporkan bahwa suhu optimal untuk pertumbuhan dan sporulasi konidia antara 25 - 30°C dengan kelembaban 100% , dan konidiogenesis menghendaki pH 7 – 8.

Pada kondisi kering dan suhu sekitar 8°C, konidia cendawan dapat bertahan sampai 365 hari di dalam tanah. Konidia akan mati bila direndam dalam air yang bersuhu 50°C selama 10 menit.

Virulensi cendawan *B. Bassiana* ditentukan oleh isolat dan tingkat kelembaban. Junianto dan Sulistyowatio (1994) menyatakan bahwa jenis isolat *B. Bassiana* Bb-704 diuji pada kelembaban 75%, 85%, 92,5% dan 100% maka isolat tersebut mempunyai virulensi yang sangat tinggi terhadap hama penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei*) dengan mortalitas 86,6% dan waktu yang dibutuhkan untuk mematikan 50% serangga uji (LT₅₀) adalah 4,6 hari. Efektivitas *B. bassiana* juga ditentukan oleh konsentrasi konidia. Pada konsentrasi $1,8 \times 10^9$ konidia/ml mampu membunuh 100% larva *Chalcodermus aeneus* dalam 6 – 7 hari (Bell dan Hamale, 1970).

2.2.2. *Metarhizium sp*

Metarhizium adalah salah satu cendawan entomopatogen yang termasuk dalam divisi Deuteromycotina: Hypomycetes. Cendawan ini biasa disebut dengan *green muscardine fungus* dan tersebar hampir diseluruh dunia (Tanada dan Kaya, 1993 ; Strack, 2003). *Metarhizium sp* telah lama digunakan sebagai agen hayati dan dapat menginfeksi beberapa jenis serangga, antara lain dari ordo Coleoptera, Lepidoptera, Homoptera, Hemiptera dan Isoptera (Strack, 2003 ; Hantoro, 2006). Cendawan ini pertama kali digunakan untuk mengendalikan hama kumbang kelapa lebih dari 85 tahun yang lalu, dan sejak itu digunakan di beberapa negara termasuk Indonesia (Gabriel dan Riyanto, 1989).

Pada awal pertumbuhan, koloni cendawan berwarna putih, kemudian berubah menjadi hijau gelap dengan bertambahnya umur. Koloni dapat tumbuh

dengan cepat pada beberapa media seperti *potato dextrosa agar* (PDA), jagung dan beras (Prayogo *et al.*, 2005). Miselium bersekat, diameter 1,98 - 2,97 μ m, konidiofor tersusun tegak, berlapis dan bercabang yang dipenuhi dengan konidia. Konidia bersel satu berwarna hialin, berbentuk bulat silinder dengan ukuran 9,94 x 3,96 μ m. Cendawan ini bersifat parasit pada beberapa jenis serangga dan bersifat saprofit di dalam tanah dengan bertahan pada sisa-sisa tanaman (Barnett dan Hunter, 1972 ; Alexopolus dan Mims, 1996).

Temperatur optimum untuk pertumbuhan jamur *Metarhizium* sp berkisar antara 22 - 27°C dengan pH 4,7 - 10, pertumbuhan optimum adalah pada pH 5,9 - 7,4 (Prayogo *et al.*, 2005). Cendawan masih dapat tumbuh pada temperatur yang lebih dingin dan konidia berkecambah pada kelembaban di atas 90% (Bidochka *et al.*, 2000). Konidia akan berkecambah dengan baik dan patogenesisnya meningkat bila kelembaban udara sangat tinggi hingga 100%. Patogenesis cendawan akan menurun apabila kelembaban udara dibawah 86 % (Prayogo *et al.*, 2005 ; Hantoro, 2006).

Hardaningsih (2001) banyak menemukan cendawan *Metarhizium* sp pada tubuh *S.litura* dipertanaman kedelai di Kendalpayak (Malang). Widayat dan Rayati (1993a) menemukan *Metarhizium* sp yang menginfeksi beberapa jenis hama seperti ulat api (*Setora nitens*), ulat jengkal (*Ectropis bhurmitra*), ulat penggulung daun (*Homona coffeira*) dan kumbang tanah (*Uloma sp*) di perkebunan teh di Jawa Barat.

Patogenesis jamur ini cukup tinggi berkisar antara 80 - 95%. Tanada dan Kaya (1993) menyatakan bahwa destruksin sangat beracun bagi serangga

yang dapat mengakibatkan terjadinya kelumpuhan, infeksi ini hanya terjadi pada sistem pencernaan dan tidak terlihat melalui kulit.

2.2.3. *Spicaria* sp

Cendawan ini mempunyai hifa bersekat dan tidak berwarna. Koloni yang muda berwarna putih dan setelah terjadi sporulasi berubah warna menjadi putih keunguan. Konidiofor tunggal kadang bercabang, berbentuk fialid dan berkelompok. Konidia terdiri dari atas satu sel, tidak berwarna dan berbentuk lonjong. Konidia diproduksi secara basipetal sehingga setelah muncul beberapa konidia berbentuk seperti rantai (Barnett dan Hunter 1972).

Cendawan *Spicaria* sp tergolong sebagai cendawan entomopatogen atau parasit serangga yang dapat terlepas bersama air sebagai insektisida mikroba (Getzin *cit* Utomo *et al.*, 1994). Cendawan ini juga telah diuji patogenesitasnya terhadap *Helopeltis antonii* pada tanaman kakao dengan hasil yang cukup baik (Utomo *et al.*, 1994). Selain itu cendawan *Spicaria* sp telah diteliti mempunyai virulensi tinggi dan berhasil baik untuk menekan populasi hama tanaman kubis, *Trichoplusia* sp selama musim dingin di lembah pegunungan Rio Grande (Getzin *cit* Otomo *et al.*, 1994).

2.2.4. *Verticillium* sp.

Cendawan yang menyerang pupa *C.cramerella* ini mempunyai konidiofor yang jarang, bercabang dan berbentuk *verticillate*. Konidia berbentuk bulat telur sampai lonjong, tidak berwarna, terdiri dari satu sel dan muncul secara tunggal. Dalam keadaan lembab muncul dalam bentuk kelompok konidia, biasanya bersifat parasit pada tanaman, terutama pada jaringan pengangkut yang dapat

menyebabkan gejala layu pada tanaman tingkat tinggi, dan ada yang dapat memarasit cendawan lain atau saprofitik (Barnett dan Hunter, 1972). Ferron (1981) *cit.* Santoso (1995) menyatakan bahwa *verticillium* termasuk salah satu cendawan yang berasosiasi dengan serangga.

2.2.5. *Fusarium* sp

Cendawan *Fusarium* sp termasuk kedalam divisi Eumycotina, subdivisi Deuteromycotyna, kelas Deuteromycetes, ordo moniliales, famili Moniliceae (Tachi, 2004 ; Lacey, 1997). *Fusarium* diketahui banyak terdapat di alam dan jenisnya bermacam macam yang dapat menyerang tanaman dan hewan, terutama serangga. Lebih dari 50 tahun cendawan ini dikenal sebagai cendawan nonpatogenik dan patogenik terhadap serangga. Cendawan *Fusarium* berpotensi sebagai mikroba untuk mengendalikan serangga hama (Teetor-Brasch, 1983)

Sebagian cendawan *Fusarium* adalah entomopatogenik, dan beberapa ada yang bersifat patogen fakultatif, terutama pada ordo Lepidoptera dan Coleoptera dan koloninya dapat tumbuh pada inang secara saprofit. Dibeberapa tempat patogenesitas cendawan pada tanaman dan serangga sudah ditemukan, dimana patogenesitasnya yang terbaik dengan mortalitas yang tinggi secara alami di lapangan telah diteliti yaitu terdapat pada ordo Homoptera dan beberapa pada Diptera. Cendawan *Fusarium* selain dapat menyebabkan kematian pada serangga, juga menunjukkan spesipik inang, tidak membunuh parasitoid dan tanaman (Teetor-Brasch, 1983).

Cendawan ini membentuk miselium yang cukup banyak sehingga menyerupai kapas berwarna merah muda. Konidiofor beragam, jarang, pendek,

percabangan tidak teratur atau fialid, berbentuk tunggal atau berkelompok dalam *sporodochia* (Barnett dan Hunter, 1972)

Cendawan *Fusarium* sp mempunyai konidia tidak berwarna, bentuknya bervariasi, pada umumnya terdiri atas dua macam yaitu makro dan mikrokonidia. Makrokonidia terdiri atas beberapa sel, agak melengkung dan bengkok pada ujungnya. Bentuknya seperti kano. Mikrokonidia terdiri atas satu sel, bentuknya bulat telur atau lonjong, dan muncul secara tunggal atau bentuk rantai. Beberapa konidia mempunyai bentuk antara makro dan mikro, 2-3 sel, lonjong atau agak melengkung.

Cendawan ini bersifat parasit pada tanaman dan serangga atau saprofit pada tanaman yang lapuk. Di India Selatan banyak ditemukan jamur *Fusarium oxysporum* yang menginfeksi hama kutu hijau pada tanaman kopi (Viswanathan, 1973 cit Sulistyowati, 1995).

2.2.6. *Aspergillus* sp

Aspergillus sp adalah suatu cendawan yang reproduksinya secara aseksual dengan memproduksi spora yang disebut konidia. Tanada dan Kaya (1993) menyatakan cendawan *Aspergillus* terdiri dari banyak spesies seperti *A.plavus*, *A.parasiticus*, *A.repens*, *A.tamari*, *A.ochraceus*, *A.fumigatus* dan *A.vesicular*. Cendawan ini umumnya sebagai saprofit akan tetapi dapat menginfeksi serangga pada rentangan jenis yang luas. *Aspergillus*, bersifat kosmopolitan dan ditemukan dimana-mana secara alami. *Aspergillus* dapat diisolasi dari tanah, sisa-sisa tanaman lapuk serta di lingkungan udara (Noveriza, 2007).

Spesies *Aspergillus* lebih dari 185, diketahui ada 20 spesies telah dilaporkan dapat menyebabkan infeksi terhadap manusia dan binatang

(Dharmaputra *et al.*, 1997). *Aspergillus fumigatus* adalah spesies yang paling umum ditemukan disekitar lingkungan, diikuti oleh *A.flavus* dan *A.niger*, *A.clavatus*, *A.nidulans*, *A.oryzae*, *A.terreus*, *A.ustus* dan *A.vesicolor*.

A. flavus dan *A.parasiticus* adalah dua spesies cendawan yang dapat memproduksi metabolit toksik yang disebut *aflatoksin* bersifat sangat karsinogenik dan mutagenik (Neucere *et al.*, 1992). *A.flavus*, penghasil utama aflatoksin umumnya hanya memproduksi aflatoksin B¹ dan B² (AFB¹ dan AFB²). Sedangkan *A.parasiticus* memproduksi AFB¹, AFB², AFG¹ dan AFG² (Bennet dan Klich, 1994 *cit* Noveriza, 2007).

Karakteristik utama *Aspergillus* adalah laju pertumbuhan yang tinggi, warna koloni dan toleransi terhadap temperatur tinggi. Dilaporkan oleh Noveriza (2007), pertumbuhan koloni cendawan *Aspergillus* pada media PDA diinkubasi pada suhu 25⁰ selama 7 hari dapat mencapai diameter koloni 1-9 cm. Variasi laju pertumbuhan dapat untuk membantu dalam identifikasi spesies.

Koloni *Aspergillus* terlihat seperti bulu-bulu halus menyerupai bedak yang ditaburkan, warnanya bervariasi tergantung spesies. Secara umum, hifa bersepta dan tidak berwarna. Konidianya bulat dan tidak berwarna (hialin). Konidiofor dimulai dari bagian kaki yang menjadi dasar untuk mendukung hifa dan berakhir pada suatu kumpulan gelembung (*vesicle*). *Vesicle* merupakan kumpulan konidia yang mudah terlepas dan membentuk rantai konidia, dan ini merupakan ciri utama spesies *Aspergillus* (Noveriza, 2007).

A.fumigatus lebih toleran terhadap panas dan dapat tumbuh baik pada temperatur diatas 40⁰ C. Temperatur optimum untuk pertumbuhan *Aspergillus* adalah pada kisaran 20 – 50⁰ C.

2.2.7. *Penicillium* sp

Cendawan *Penicillium* mampu menginfeksi pupa *C.cramerella*, konidianya muncul dari hifa tunggal. Di dekat ujung konidiofor terbentuk percabangan seperti sapu pada tempat munculnya konidia, yang berakhir sebagai *fialid* yang mudah lepas dalam keadaan kering. Konidia tidak berwarna, terdiri atas satu sel, umumnya membulat dan terbentuk secara *basipetal*. Koloni cendawan berwarna putih dan cendawan ini bersifat parasit dan saprofit (Barnett dan Hunter, 1972)



III. BAHAN DAN METODE

3.1. Tempat dan Waktu

Cendawan entomopatogen dikoleksi dari rhizosfir tanaman kakao di kabupaten Padang Pariaman dan kabupaten Solok. Karakterisasi morfologi dan fisiologi serta uji patogenesitas cendawan entomopatogen dilakukan di Laboratorium Pengendalian Hayati Jurusan Hama Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Andalas Padang. Penelitian telah dilaksanakan dari bulan Juni 2008 sampai dengan Desember 2008.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serangga *C.cramerella*, larva *Tenebrio molitor*, cendawan entomopatogen isolat tanaman kakao, medium SDAY, medium selektif DOC-2, alkohol 70 %, natrium hypoklorit, aquadest.

Alat yang digunakan : stoples kecil, kotak plastik, cawan petri, gelas piala, jarum ose, kain kasa, kapas, ayakan 600 mess, lampu spiritus, gunting, pinset, gelas ukur, kuas, pipet tetes, erlemeyer, hand sprayer, haemocytometer, mikroskop, autoclave, boxcooler, *Global Position System* (GPS), kamera digital, hygrometer, soil tester dan termometer.

3.3. Metode Penelitian

Tahap I. Keanekaragaman cendawan entomopatogen

Tujuannya adalah untuk mengetahui keanekaragaman jenis cendawan entomopatogen yang ada pada rhizosfir tanaman kakao.

1.1. Penentuan lokasi penelitian

Metode pengambilan sampel dilakukan secara bertingkat (*Stratified Sampling*). Cendawan entomopatogen diambil dari rhizosfir tanaman kakao di dua daerah dengan vegetasi (tanaman pelindung) yang berbeda. Pada masing-masing kabupaten dipilih dua nagari dengan areal tanaman kakao terluas berdasarkan data statistik perkebunan dan ada serangan *C.cramerella*. Masing-masing nagari terpilih diambil satu kebun petani untuk pengambilan sampel tanah. Deskripsi lokasi penelitian untuk pengambilan sampel tanah dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Deskripsi lokasi penelitian untuk pengambilan sampel tanah.

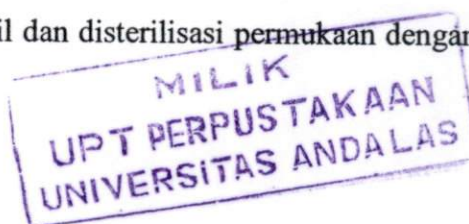
Kabupaten/ Kecamatan	Nagari	Koordinat	Ketinggian	Karakteristik Kebun Kakao
Padang	-Sikucur	S:00°29'12,9"	73 mdpl.	Tanaman
Pariaman/V.Koto	Utara	E:100°09'27,3"		kakao
Kampung Dalam	-Cimpago	S:00°35'57,1"	43 mdpl.	berumur > 10
		E:100°08'20,7"		tahun, pelindung kelapa, pisang + kelapa, pertumbuhan baik, serangan PBK berat (64%)
Solok/Kubung	-Salayo	S:00°49'46,6"	484 mdpl.	Tanaman
		E:100°38'10,1"		kakao
	-Tanjung	S: 00°49'49,6"	520 mdpl.	berumur < 10
	Bingkuang	E:100°37'09,6"		tahun, pelindung gamal, pohon Surian, pertumbuhan baik, serangan PBK ringan (15%)

1.2. Koleksi dan isolasi cendawan entomopatogen dari tanah

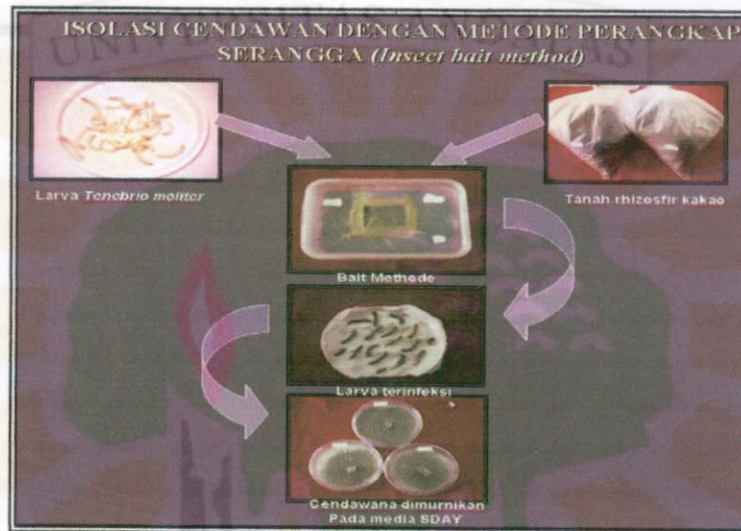
Tanah dikoleksi dari sekitar rhizosfir tanaman kakao pada daerah yang telah ditentukan (Tabel 3.1), yang masing-masing daerah mempunyai ciri tersendiri baik lokasi maupun kondisi kebun kakao. Kabupaten Padang Pariaman mewakili daerah pertanaman kakao dengan tanaman pelindung berupa kelapa dan kelapa + pisang sedangkan kabupaten Solok mewakili ekosistem dengan tanaman pelindung pohon campuran (pohon gamal, pohon surian dan pohon keminting).

Tanah diambil dengan menggali pada kedalaman 10 - 15 cm disekitar perakaran tanaman kakao menggunakan skop kecil. Pada masing-masing sub sampel tanah diambil sebanyak 4 x 500 gram dari 4 sisi tanaman kakao kemudian digabung. Sampel tanah dimasukan kedalam kantong plastik dan diberi label kemudian disimpan dalam kotak pendingin (*box cooler*). Selanjutnya sampel tanah dibawa ke laboratorium untuk diproses lebih lanjut.

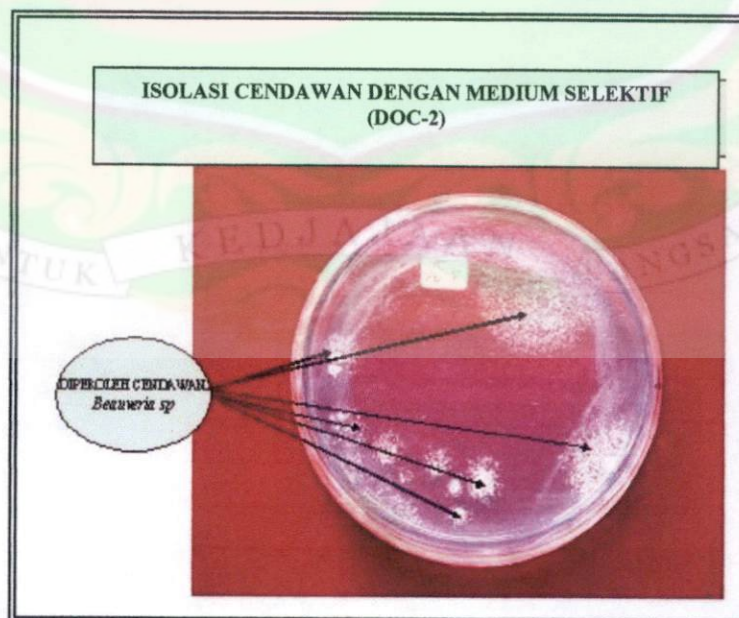
Isolasi cendawan dari tanah dilakukan dengan metode perangkap (*bait methode*) menggunakan larva *T.molitor* (Hasyim dan Azwana, 2003; Trizelia, 2005) (Gambar 3.1) dan menggunakan medium selektif DOC-2 (Shimazu *et al.*, 2002 *cit* Trizelia, 2005) (Gambar 3.2). Tanah sampel dari masing-masing lokasi dibersihkan dari akar tanaman, dihaluskan kemudian diayak dengan ayakan 600 mesh. Tanah yang sudah diperlakukan tadi sebanyak 500 gram dimasukan kedalam kotak plastik berukuran 15x10x10cm. Tanah dilembabkan dengan air steril sampai tanah kelihatan agak basah, kemudian masukan 10 ekor larva *T.molitor* instar 5 yang baru berganti kulit. Kotak kemudian diinkubasi pada suhu ruang (25°C) selama 10 hari. Pengamatan larva *T.molitor* terinfeksi dilakukan setiap hari. Larva yang mati diambil dan disterilisasi permukaan dengan natrium



hypoklorit 1% dan dibilas 3 kali dengan air steril. Selanjutnya dimasukan kedalam cawan petri yang telah dialasi dengan kertas saring lembab dan diinkubasi selama 12 hari. Isolasi cendawan dari larva yang terinfeksi dilakukan dengan cara mengambil konidia cendawan yang tumbuh dibagian luar tubuh larva dan ditumbuhkan pada medium SDAY kemudian dimurnikan.



Gambar 3.1. Isolasi cendawan entomopatogen dengan teknik perangkap serangga (*insect baiting methode*)



Gambar 3.2. Isolasi cendawan entomopatogen dengan medium selektif DOC-2

Isolasi cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* dari tanah dilakukan dengan medium selektif DOC-2 (Bactopepton 3gr, CuCl_2 2gr, kristal violet 2mg, agar 15gr, air 1000 ml) (Shimazu *et al.*, 2002 cit Trizelia, 2005). Dari masing-masing sampel tanah tersebut diambil sebanyak 10gr, dilarutkan dalam 100ml akuadest steril yang telah diberi 0,05% tween 80 dan di vorteks selama 2 menit. Suspensi tanah diencerkan (*serial delution*) sampai 3 kali dan 0,1 ml suspensi dimasukan dalam cawan petri yang telah berisi medium DOC-2 untuk isolasi cendawan entomopatogen. Cawan petri diinkubasikan selama 8 hari dan koloni cendawan yang ada diisolasi kembali kemudian dimurnikan pada media SDAY.

Identifikasi cendawan yang didapat dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis. Kunci identifikasi yang digunakan adalah kunci Barnett dan Hunter (1972), Poinar dan Thomas (1984), dan Watanabe (2002).

1.3. Penyediaan serangga uji

Penyediaan serangga uji berupa prapupa *C.cramerella* dilakukan dengan beberapa cara. Prapupa dikumpulkan langsung dari kebun kakao terserang *C.cramerella* dengan mencarinya di buah (pada lekukan), daun (yang masih menggantung atau gugur ditanah), tumpukan kulit buah, seresah disekitar pertanaman atau dimana saja yang memungkinkan prapupa bisa melekat. Cara berikutnya dilakukan dengan mengumpulkan buah-buah terserang dengan kriteria belum terlihat lubang keluar larva. Semua buah terserang dibawa ke laboratorium, diletakan diatas meja yang sebelumnya telah dialas karung plastik. Tumpukan buah kakao terserang *C.cramerella* ditutup dengan daun kakao, terakhir ditutup dengan karung plastik. Agar larva yang baru keluar dari buah tidak dibunuh oleh semut, kaki meja dipasang kaleng isolasi berisi minyak tanah. Pengamatan

dilakukan setiap hari untuk mengetahui ada tidaknya prapupa (Suntoro *et al.*, 2003).

Prapupa yang ditemukan dan melekat pada buah, daun atau karung dipanen, yaitu dengan memotong bagian yang ditemplei prapupa dengan ukuran 2,5 x 2,5cm. Semua prapupa yang dipanen tempatkan pada cawan petri. (Sulistyowati, 2003).

Tahap II. Identifikasi dan Karakterisasi Fisiologis Cendawan entomopatogen

2.1. Identifikasi cendawan entomopatogen

Tujuannya adalah untuk mengetahui jenis cendawan entomopatogen yang ada di dalam tanah pada rhizosfir tanaman kakao. Masing-masing cendawan entomopatogen yang sudah dimurnikan diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis.

2.2. Karakterisasi fisiologis cendawan entomopatogen

Masing-masing cendawan entomopatogen yang sudah dimurnikan, dilakukan karakterisasi secara fisiologi. Pengamatan dilakukan terhadap daya kecambah konidia, laju pertumbuhan koloni dan sporulasi.

2.2.1. Daya kecambah konidia

Evaluasi daya kecambah konidia dilakukan menurut metode yang dikemukakan oleh Junianto dan Sukanto (1995). Medium SDAY yang berbentuk lempengan dengan ukuran luas sekitar 1 cm² dan tebal 1 - 2 mm diletakan di atas gelas objek steril. Diatas medium ditetaskan 10µl suspensi konidia yang

mengandung 10^6 konidia/ml dari masing-masing cendawan entomopatogen kemudian dimasukkan kedalam cawan petri steril yang diisi dengan kertas saring lembab dan diinkubasikan pada suhu 25°C selama 18 jam. Setiap perlakuan diulang 4 kali. Pengamatan menggunakan mikroskop cahaya dengan perbesaran 400 kali. Persentase kecambah dihitung dari 100 konidia. Konidia dinyatakan berkecambah apabila panjang tabung kecambah telah melebihi diameter konidia. Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap (RAL). Data yang diperoleh diolah dengan sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji Tukey (HSD) pada taraf nyata 5%.

2.2.2. Laju pertumbuhan koloni

Masing-masing cendawan entomopatogen yang berumur 7 hari dengan diameter 10 mm diinokulasikan pada media SDAY dalam cawan petri dan diinkubasikan pada suhu 25°C . Pengamatan diameter koloni dari masing-masing cendawan diukur setiap 5 hari sampai hari ke 20. Data yang diperoleh diolah dengan sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji Tukey (HSD) pada taraf nyata 5%.

2.2.3. Sporulasi

Sporulasi masing-masing jenis cendawan entomopatogen dihitung dengan cara menyiapkan suspensi konidia dengan konsentrasi 10^6 konidia/ml. Untuk masing-masing isolat, 0,1 ml suspensi konidia dimasukkan dalam cawan petri (diameter 9 cm) yang telah berisi media SDAY. Biakan diinkubasikan selama 15 hari pada suhu 25°C . Setelah 15 hari, biakan pada cawan petri dimasukkan kedalam labu erlemeyer dan ditambahkan 50 ml aquadest steril. Biakan divorteks

selama 5 menit, disaring dan diencerkan sampai 4 kali. Konsentrasi konidia dari suspensi dihitung dengan haemositometer dan rata-rata jumlah konidia percawan petri dibandingkan antar isolat. Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap (RAL). Data yang diperoleh diolah dengan sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji Tukey (HSD) pada taraf nyata 5%.

Tahap III. Uji patogenesitas cendawan entomopatogen

3.1. Pelaksanaan Uji patogenesitas

Tujuannya adalah untuk mengetahui patogenesitas dari masing-masing cendawan entomopatogen terhadap serangga *C.cramerella*.

Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap (RAL) dengan 4 ulangan dan 6 genus cendawan yang ditemukan (10 isolat) sebagai perlakuan yang diuji. Data yang diperoleh dianalisis dengan sidik ragam bila berbeda nyata dilanjutkan dengan uji Tukey (HSD) pada taraf nyata 5%.

Serangga *C.cramerella* yang diuji adalah stadia prapupa. Konsentrasi konidia dari masing-masing cendawan entomopatogen yang digunakan adalah 10^8 konidia/ml. Suspensi konidia diperoleh dengan menambahkan aquades steril sebanyak 10 ml kedalam cawan petri yang berisi biakan cendawan, kemudian dikuas agar konidia cendawan terlepas, suspensi disaring untuk membuang ampas. Konsentrasi konidia dihitung menggunakan haemositometer.

Setiap perlakuan terdiri dari 10 ekor serangga uji yaitu prapupa *C.cramerella* yang diletakan dalam cawan petri berdiameter 20 cm, kemudian disemprot dengan suspensi entomopatogen sesuai perlakuan. Aplikasi agen hayati menggunakan hand sprayer dengan 3 kali semprot. Setelah penyemprotan,

prapupa dipindahkan ke tabung steril yang dilandasi kertas tisu basah (Sulistyowati, 2003)

3.2. Pengamatan

Pengamatan dilakukan terhadap jumlah prapupa *C.cramerella* yang mati dan jumlah prapupa *C.cramerella* yang terinfeksi dan ditumbuhi cendawan selama 8 hari pengamatan setelah aplikasi. Prapupa yang mati dikumpulkan dan diinkubasi untuk diamati munculnya konidia cendawan.

3.2.1. Gejala infeksi cendawan pada prapupa

Pengamatan dilakukan dengan mengamati perubahan yang terjadi pada prapupa seperti perubahan bentuk, ukuran dan warna. Pengamatan dilakukan setiap selang waktu 24 jam yang dimulai sejak perlakuan sampai hari ke 8 setelah inokulasi

3.2.2. Lama kematian prapupa

Lama kematian prapupa dihitung dalam satuan hari yang dimulai sejak pemberian perlakuan. Hasil pengamatan lama kematian kemudian dirata-ratakan

3.2.3. Mortalitas prapupa

Pengamatan terhadap mortalitas prapupa dilakukan dengan menghitung jumlah prapupa yang mati setiap waktu 24 jam sampai terbentuk imago (hari ke 8). Persentase mortalitas dihitung dengan menggunakan rumus :

$$M = \frac{n}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

M = persentase mortalitas prapupa

N = jumlah prapupa yang mati

N = jumlah prapupa yang diperlakukan

Persentase mortalitas yang diperoleh kemudian dikoreksi dengan menggunakan rumus Abbott's :

$$P = \frac{Po - Pc}{100 - Pc} \times 100\%$$

Keterangan :

P = Persentase serangga uji yang mati setelah dikoreksi

P_o = Persentase serangga uji yang mati pada perlakuan

P_c = Persentase serangga yang mati pada kontrol

Penentuan waktu yang dibutuhkan oleh cendawan entomopatogen untuk mematikan 50% serangga uji (LT₅₀) dilakukan dengan analisis probit.

3.2.4. Persentase imago yang terbentuk

Pengamatan ini dilakukan dengan menghitung jumlah imago yang terbentuk dari setiap perlakuan. Persentase imago yang terbentuk dihitung dengan menggunakan rumus : $P = \frac{b}{N} \times 100\%$

Keterangan :

P = persentase imago yang terbentuk

b = jumlah imago yang terbentuk

N = jumlah prapupa yang diperlakukan

Efektivitas cendawan entomopatogen terhadap kontrol dalam menekan terbentuknya imago *C.cramerella* dapat dihitung dengan menggunakan rumus Sivan dan Chet (1986) yang dimodifikasi oleh Habazar (2004), yaitu :

$$E = (1 - P/K) \times 100 \%$$

Keterangan :

E = efektivitas

P = perlakuan

K = kontrol

3.4. Diagram Alir Penelitian

Proses kegiatan penelitian secara ringkas disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.3.

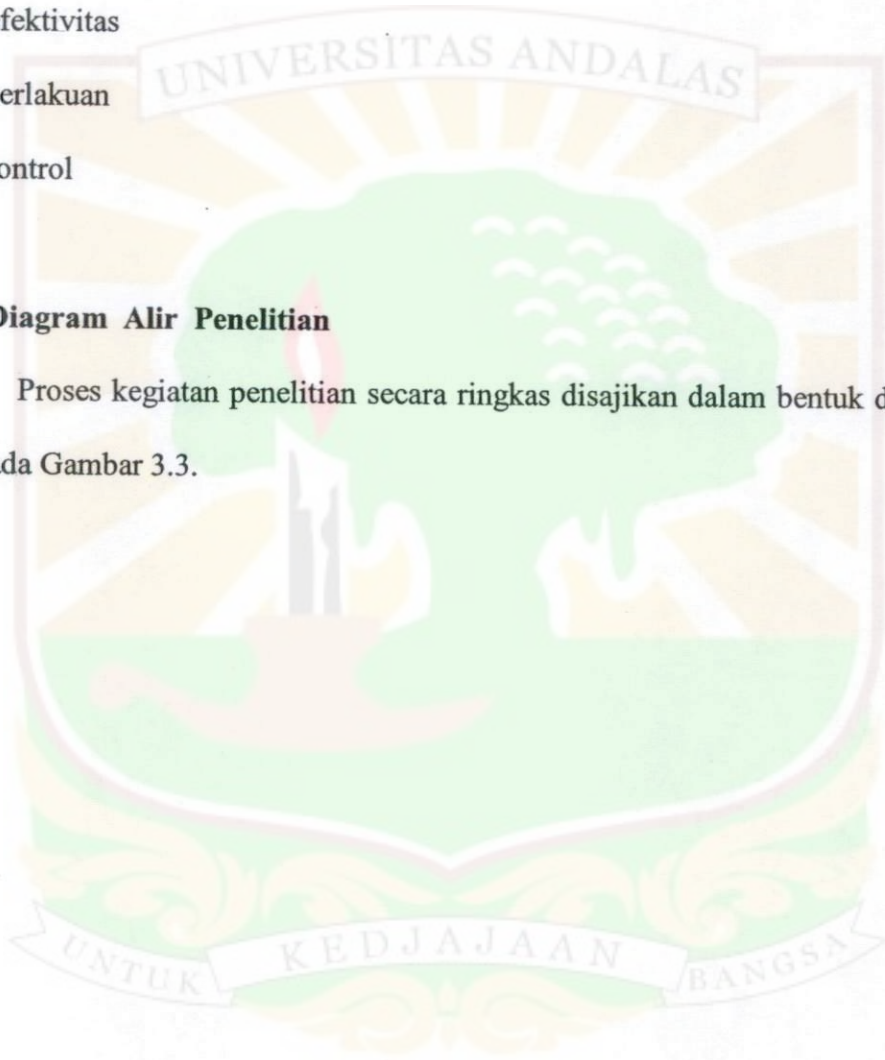
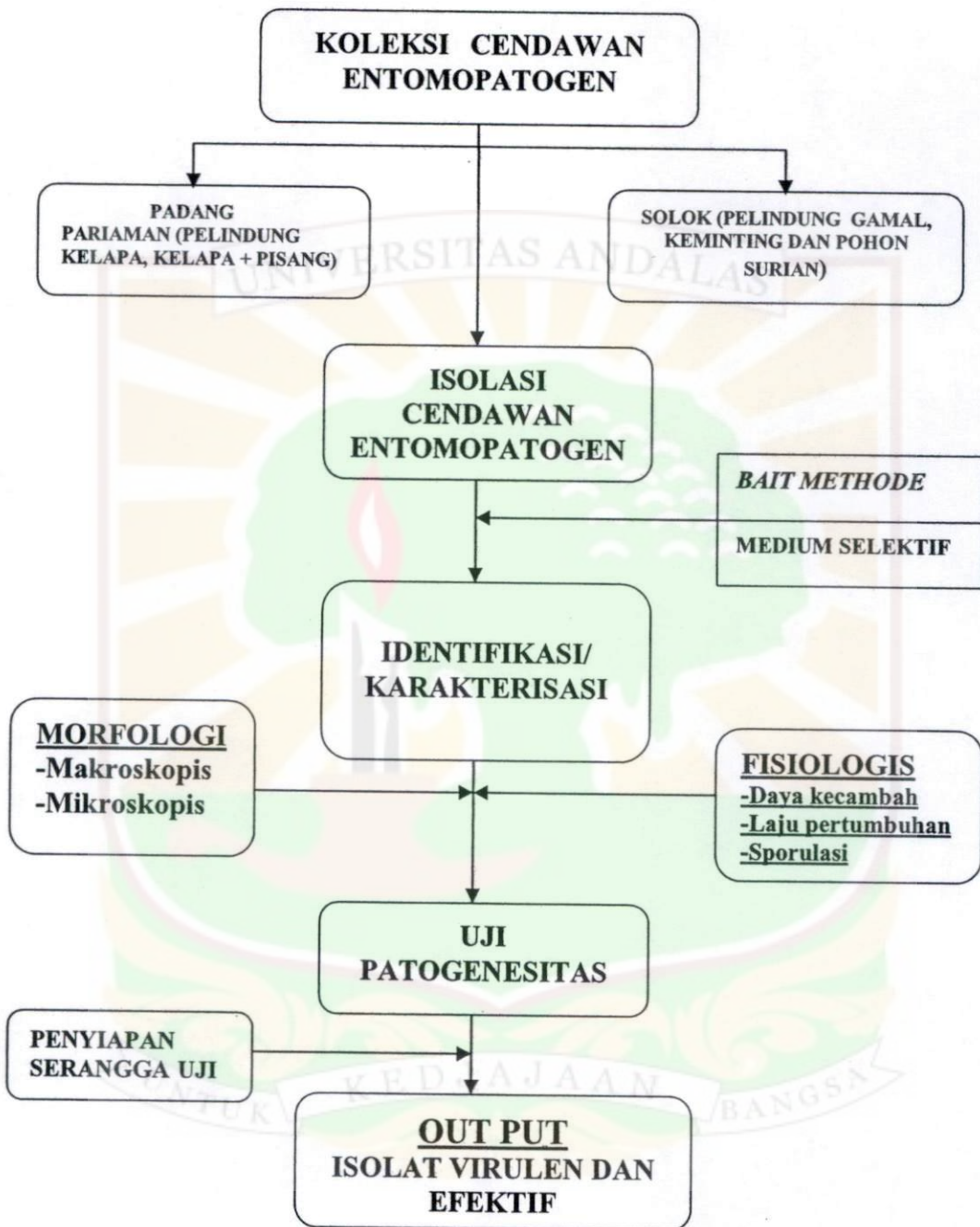


DIAGRAM ALIR KEGIATAN PENELITIAN



Gambar 3.3. Diagram Alir Kegiatan Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Agroekosistem Kakao

Cendawan entomopatogen rhizosfir tanaman kakao dikoleksi dari perkebunan kakao yang mempunyai karakteristik agroekosistem berbeda baik dari ketinggian maupun jenis tanaman pelindungnya. Kabupaten Padang Pariaman mewakili pertanaman kakao dengan pelindung pohon kelapa dan pisang (Gambar 4.1.a). Ketinggian tempat berkisar antara 43 – 73 m dari permukaan laut. Pertumbuhan tanaman kakao rata-rata baik, berumur diatas 10 tahun dan tingkat serangan *C.cramerella* rata-rata berat (64%) dari areal tanam kakao seluas 35 ha.

Kabupaten Solok mewakili perkebunan kakao dengan pohon pelindung campuran seperti pohon surian, gamal, keminting dan tanaman hutan lainnya (Gambar 4.1.b). Topografi berbukit dengan ketinggian tempat berkisar antara 484 – 520 mdpl. Pertumbuhan tanaman kakao rata-rata baik, berumur dibawah 10 tahun dengan tingkat serangan *C.cramerella* rata-rata ringan (15%) dari areal tanaman kakao seluas 88 ha.



Gambar 4.1. Kondisi agroekosistem tanaman kakao (a) perkebunan kakao di Padang Pariaman dengan pelindung kelapa dan (b) perkebunan kakao di Solok dengan pelindung berupa tanaman hutan (surian, gamal dan keminting)

4.2. Koleksi Cendawan Entomopatogen

Koleksi cendawan entomopatogen dari tanah dilakukan dengan metode perangkap serangga (*insect baiting methode*) dan menggunakan medium selektif DOC-2. Hasil koleksi cendawan entomopatogen dari tanah rhizosfir kakao dapat dilihat dari persentase *Tenebrio molitor* terinfeksi pada Tabel 4.1 dan koleksi cendawan *Beauveria* dengan medium selektif DOC-2 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1. Rata-rata populasi larva *T. molitor* terinfeksi cendawan entomopatogen dengan teknik perangkap serangga (*insect baiting methode*)

Lokasi pengambilan sampel	Populasi <i>T.molitor</i> terinfeksi (%)
Padang Pariaman	35,00
Solok	58,75

Tabel 4.2. Rata-rata persentase pertumbuhan cendawan *B.bassiana* dari sampel tanah pada medium selektif (DOC-2)

Lokasi pengambilan sampel	Pertumbuhan cendawan <i>B.bassiana</i> (%)
Padang Pariaman	12,51
Solok	26,25

Dari Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa persentase larva *T.molitor* yang terinfeksi cendawan entomopatogen dari kabupaten Solok lebih tinggi dibandingkan dengan kabupaten Padang Pariaman. Tingginya persentase larva *T.molitor* yang terinfeksi diduga karena jumlah konidia cendawan entomopatogen yang ada pada rhizosfir tersebut lebih tinggi, sehingga peluang terinfeksi serangga juga lebih tinggi. Cendawan *B.bassiana* dari rhizosfir kakao yang dikoleksi dengan medium selektif lebih banyak ditemukan di daerah Kabupaten Solok dibandingkan dengan di Kabupaten Padang Pariaman (Tabel 4.2). Kondisi ini menunjukkan bahwa *B.bassiana* pada rhizosfir kakao dari Kabupaten Solok

lebih tinggi kuantitasnya dibandingkan dengan di kabupaten Padang pariaman. Hasil koleksi cendawan entomopatogen pada rhizosfir kakao dari Kabupaten Padang Pariaman dan Kabupaten Solok dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil koleksi cendawan entomopatogen dari rhizosfir tanaman kakao

Daerah Asal	Metode Koleksi	Genus	Isolat
Padang Pariaman	IBM	<i>Metarhizium</i>	MetP1
			MetP2
	MS	<i>Penicillium</i>	PenP2
		<i>Beauveria</i>	BbP1
Solok	IBM	<i>Metarhizium</i>	MetS2
			MetS3
		<i>Fusarium</i>	FusS1
	MS	<i>Aspergillus</i>	AsS3
		<i>Paecilomyces</i>	PaeS4
		<i>Beauveria</i>	BbS1

Keterangan : IBM = *Insect Baiting Methode*, MS = *Medium Selektif (DOC-2)*

Adanya perbedaan kepadatan populasi cendawan pada tanah rhizosfir kakao dari dua lokasi pengambilan sampel tanah diduga dipengaruhi oleh kondisi agroekosistem seperti jenis tanaman pelindung dan ketinggian tempat serta teknik berbudidaya yang berbeda. Tanaman pelindung di Solok menggunakan tanaman campuran (surian, gamal, kemiri dan tanaman hutan lainnya) dengan kanopi yang lebih rapat. Jenis tanaman pelindung ini cenderung membuat iklim mikro terutama kelembaban kebun menjadi lebih tinggi dan temperatur menjadi lebih rendah. Menurut Sosa-Gomez *et al.* (2001) kondisi kebun dengan lingkungan seperti ini membuat golongan cendawan tanah menjadi lebih baik pertumbuhannya.

Hasil koleksi cendawan entomopatogen pada rhizosfir kakao di Padang Pariaman jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan di Solok. Hal ini mungkin disebabkan oleh kondisi kebun kakao di Padang Pariaman yang lebih terbuka

karena tanaman pelindung kakao umumnya berupa tanaman kelapa yang tinggi (lebih dari 10 m). Tanaman pelindung seperti ini membuat kondisi kebun kurang lembab dan rata-rata temperatur hariannya lebih tinggi (Tabel 4.4). Hasil penelitian Sulistyowati dan Junianto (1995) juga menyimpulkan bahwa hasil perolehan cendawan entomopatogen pada tanamana kakao dengan pelindung kelapa jarang atau bahkan tidak ditemukan dibandingkan perkebunan kakao menggunakan penaung berupa campuran pohon-pohon besar.

Tanah merupakan lingkungan yang paling sesuai bagi cendawan entomopatogen. Di dalam tanah, konidia cendawan entomopatogen bisa bertahan lebih lama jika permukaan tanah kondisinya terlindung dari faktor lingkungan yang ekstrim seperti radiasi sinar UV, kekeringan dan suhu. Kondisi ini sesuai dengan apa yang dikemukakan oleh Semangun (1991) bahwa sinar matahari yang secara langsung mengenai tanah mempunyai daya fungisidal, khususnya karena spektrum ultra violet, sehingga dapat membunuh jamur secara langsung. Keadaan ekosistem seperti ini membuat kuantitas cendawan tanah lebih rendah.

Tabel 4.4. Rata-rata suhu udara, kelembaban udara, suhu tanah, kelembaban tanah dan pH tanah pada lokasi pengambilan sampel tanah

Parameter	Lokasi Pengambilan sampel tanah	
	Padang Pariaman	Solok
Suhu udara ($^{\circ}\text{C}$)	29,50	28,37
Kelembaban udara (%)	65,50	72,75
Suhu tanah ($^{\circ}\text{C}$)	25,25	24,00
Kelembaban tanah (%)	24,13	30,00
pH tanah	6,79	6,90

Pada Tabel 4.4. menunjukan bahwa ada perbedaan faktor fisik tanah dan kondisi iklim mikro antara lokasi pengambilan sampel di Padang Pariaman dan Solok. Perbedaan ini berimplikasi pada perolehan cendawan entomopatogen dimasing-masing lokasi pada penelitian yang telah dilaksanakan. Kondisi ini

sejalan dengan hasil penelitian Zahara *et al.* (2007) yang melaporkan bahwa perbedaan faktor fisik tanah pada dua lokasi pengambilan sampel tanah memberikan pengaruh terhadap keberadaan cendawan pada ekosistem tersebut.

Di Padang Pariaman, petani pemilik kebun sampel dalam mengendalikan OPT terutama gulma cenderung menggunakan herbisida. Demikian juga dengan hama dan penyakit kakao, seringkali disemprot dengan insektisida dan fungisida (hasil wawancara langsung dengan petani, Desember 2008). Faktor ini diduga sebagai penyebab rendahnya jumlah dan keanekaragaman perolehan cendawan entomopatogen rhizosfir kakao. Hasil penelitian Sapieha-Waszkiewicz *et al.* (2005) melaporkan bahwa tanah pertanaman anggur yang tidak diaplikasi dengan pestisida memiliki cendawan entomopatogen yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah pertanaman anggur yang diaplikasi dengan pestisida.

Ketinggian lokasi pengambilan sampel tanah dari permukaan laut juga diduga menjadi penyebab adanya perbedaan perolehan cendawan entomopatogen. Lokasi pengambilan sampel di Solok termasuk zone II (484-520 mdpl.) lebih tinggi dibanding dengan lokasi pengambilan sampel tanah di Padang Pariaman termasuk zone I (43-73 mdpl.). Pembagian lokasi pengambilan sampel tanah yang dihubungkan dengan ekologi cendawan tanah adalah zone I 0-300 mdpl., zone II 300-500 mdpl., zone III 500-1000 mdpl. dan zone IV 1000-2000 mdpl. (Wellman, 1972 *cit* Zahara *et al.*, 2007). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ada perbedaan yang nyata antara jumlah cendawan yang diperoleh di Padang Pariaman (zone I) dengan jumlah cendawan yang diperoleh di Solok (zone II).

Penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Zahara *et al.*, (2007) menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang nyata terhadap keragaman jenis

cendawan pada ketinggian 0-300 mdpl. dengan rata rata 5,33 jenis dan ketinggian 301-600 mdpl. dengan rata-rata 9,33 jenis, tidak berbeda nyata pada ketinggian 601-900 mdpl

4.3. Identifikasi cendawan entomopatogen

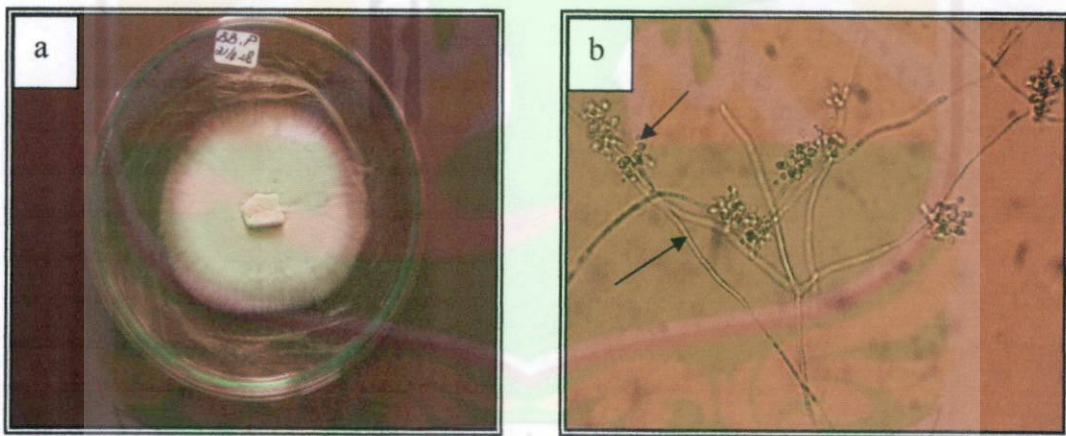
Hasil identifikasi cendawan entomopatogen dari berbagai lokasi ditemukan 6 genus cendawan dengan karakteristik berbeda (Tabel 4.5).

Tabel 4.5. Karakterisasi morfologi cendawan entomopatogen pada media SDAY (14 hsi)

Daerah Asal	Isolat Cendawan Entomo patogen	Genus	Warna Koloni	Hifa	Konidia
P.Pariaman	BbP1	<i>Beauveria</i>	Putih	Hialin,ramping, bulat	Bulat, hialin, bulat telur
Solok	BbS1	<i>Beauveria</i>	Putih	Hialin,ramping, bulat	
Solok	MetS3	<i>Metarhizium</i>	Hijau tua	Hialin	Bulat
P.Pariaman	MetP1	<i>Metarhizium</i>	Hijau tua	Hialin	silinder,hialin
Solok	MetS2	<i>Metarhizium</i>	Hijau tua	Hialin	Bulat,
P.Pariaman	MetP3	<i>Metarhizium</i>	Hijau tua	hialin	silinder, hialin
Solok	FusS1	<i>Fusarium</i>	Putih - Kuning muda	hialin	Makrokonidia ,agak melengkung, bengkok pada ujungnya terdiri beberapa sel. Mikrokonidia ,Bulat telur atau lonjong terdiri satu sel, hialin
Solok	AsS3	<i>Aspergillus</i>	Hijau-kuning	Bersepta, hialin	Bulat, hialin
Solok	PaeS4	<i>Paecilomyces</i>	Putih kehijauan	Bersepta, hialin	Oval, fusoid,hialin
P.Pariaman	PenP2	<i>Penicillium</i>	Putih kekuningan	Hialin	Bulat, hialin

Berdasarkan hasil identifikasi secara makroskopis dan mikroskopis karakteristik morfologi masing masing cendawan entomopatogen yang ditemukan dapat diuraikan secara rinci sebagai berikut :

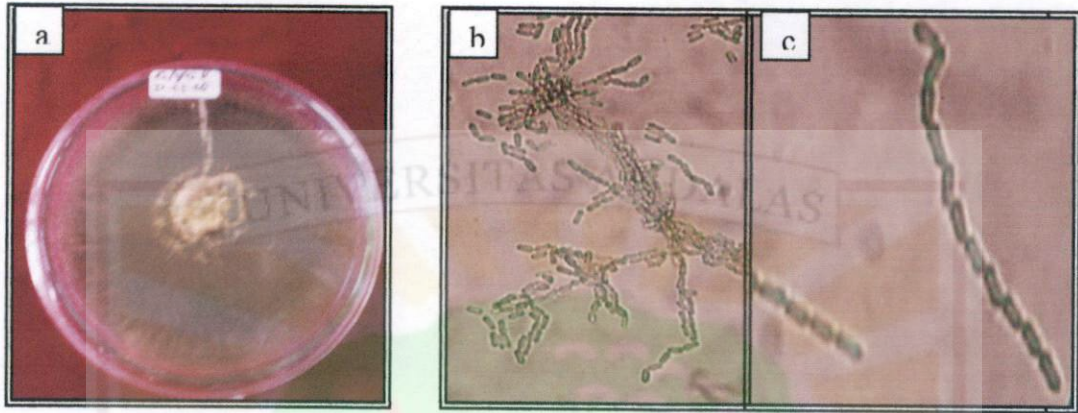
- a. *Beauveria* : hifa tidak berwarna, ramping dan bersekat. Konidiofor tunggal berbentuk fialid terletak pada cabang-cabang utama hifa dalam kelompok. Permukaan koloni datar, berwarna putih bersih. Konidia bulat sampai bulat telur, bersel satu dan tidak berwarna. Konidiofor terletak pada strigmata yang tersusun *zig-zag* setelah beberapa konidia terbentuk pada bagian ujung fialid (Gambar 4.2). Hasil identifikasi ini sesuai dengan identifikasi oleh Barnett dan Hunter (1972); Sulistyowati dan Junianto, (1995) dan Watanabe (2002).



Gambar 4.2. Morfologi koloni dan struktur cendawan *Beauveria* (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi) dan (b) struktur cendawan, konidia dan hifa (tanda panah) (perbesaran 400 x)

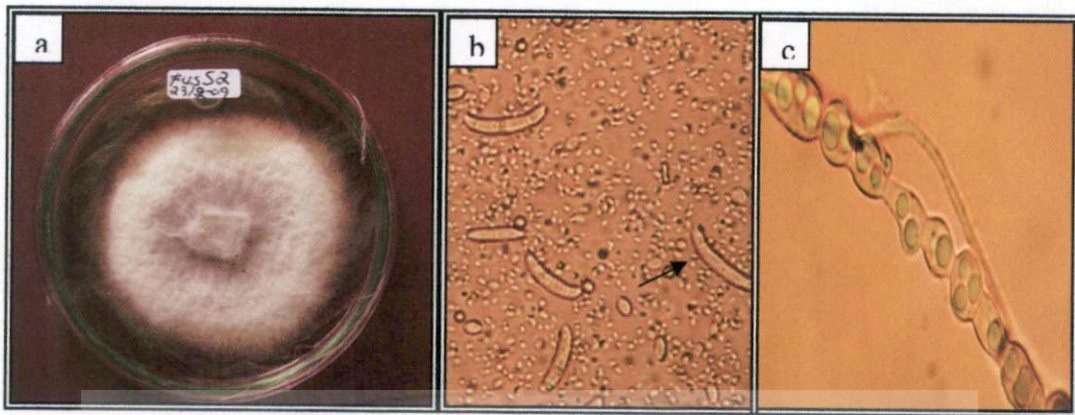
- b. *Metarhizium* : Koloni jamur awalnya berwarna putih, dengan bertambahnya umur kemudian berubah menjadi hijau gelap (Gambar 4.3) *Metarhizium* mempunyai miselium yang bersekat, tidak berwarna, konidiofor tersusun tegak, bercabang dan berlapis yang dipenuhi dengan

konidia. Konidia tidak berwarna, bersel satu, bentuknya bulat agak silinder. Karakteristik ini sama dengan hasil identifikasi oleh Barnett dan Hunter (1972); Watanabe (2002); Prayogo *et al.* (2005).



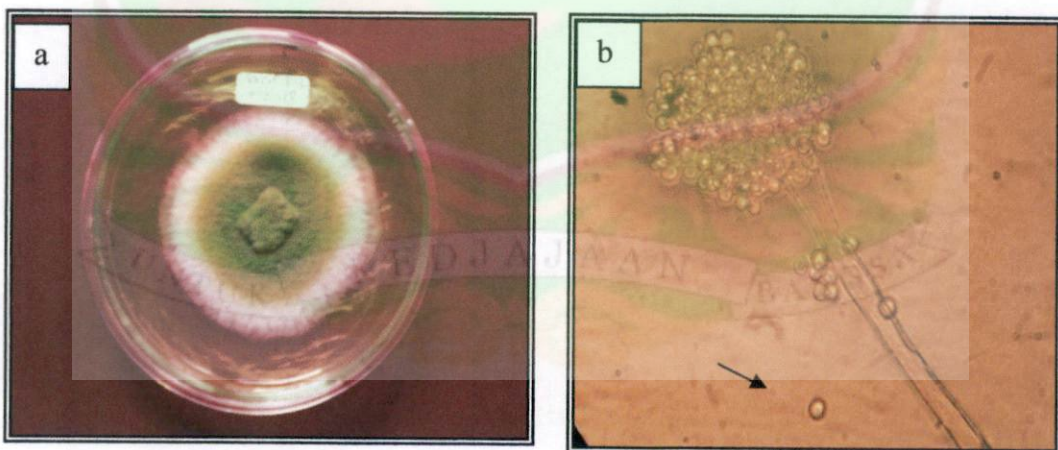
Gambar 4.3. Morfologi koloni dan struktur cendawan *Metarhizium* (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi), (b) konidiofor dan (c) rantai konidia (perbesaran 400 x)

- c. ***Fusarium*** : Koloni jamur berwarna putih kekuningan dan merah muda. Cendawan ini membentuk miselium yang cukup banyak sehingga menyerupai kapas berwarna merah muda. Konidiofor beragam, jarang, pendek, percabangan tidak teratur atau fialid, berbentuk tunggal atau berkelompok dalam sporodochia. Konidia cendawan *Fusarium* tidak berwarna, pada umumnya terdiri atas dua macam yaitu : makrokonidia dan mikrokonidia. Makrokonidia bentuknya agak melengkung seperti bulan sabit, bengkok pada ujungnya dan terdiri atas beberapa sel (Gambar 4.4b). Mikrokonidia terdiri atas satu sel bentuknya bulat telur atau lonjong dan muncul secara tunggal atau bentuk rantai. Beberapa konidia mempunyai bentuk antara makro dan mikro, 2 - 3 sel, lonjong atau agak melengkung. Karakteristik ini sesuai dengan hasil identifikasi oleh Barnett dan hunter (1972); Sulistyowati dan Junianto (1995); Watanabe (2002).



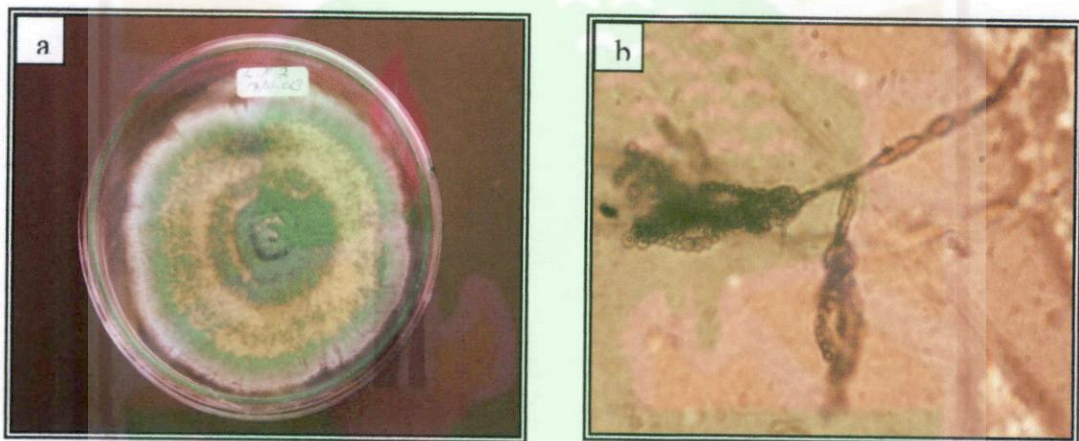
Gambar 4.4. Morfologi koloni dan struktur cendawan *Fusarium* (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi), (b) makrokonidia dan (c) klamidospora (perbesaran 400 x)

- d. *Aspergillus* : koloni cendawan terlihat seperti berbulu halus menyerupai bedak yang ditaburkan, pada medium SDAY berwarna hijau kekuningan . Hifa bersepta dan tidak berwarna (hialin), konidiofor sederhana, tidak berwarna, konidia bulat dan tidak berwarna (Gambar 4.5). Karakteristik ini sesuai dengan yang dinyatakan oleh Barnett dan Hunter (1972); Watanabe (2002); Noveriza (2007).



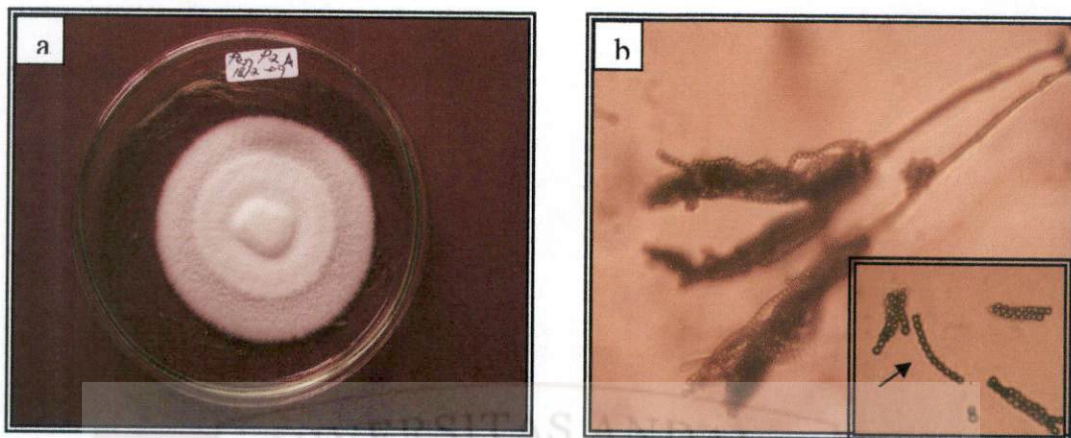
Gambar 4.5. Morfologi koloni dan struktur cendawan *Aspergillus* (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi), (b) konidia berbentuk bulat dan hialin (perbesaran 400 x)

- e. *Paecilomyces* : koloni cendawan awalnya berwarna putih, dengan bertambahnya umur berubah menjadi kehijauan (Gambar 4.6). Konidia berbentuk oval, fusoid, hyfa bersepta dan tidak berwarna (hialin). Konidiofor bercabang dan memiliki fialid dibagian ujungnya. fialid tipis dengan bagian dasar membesar dan ujungnya memanjang, kadang kadang memiliki klamidospora. Karakteristik ini sesuai dengan yang dinyatakan oleh Watanabe (2002) ; Nuraida (2007).



Gambar 4.6. Morfologi koloni dan struktur cendawan *Paecilomyces* (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi), (b) konidiofor (perbesaran 400 x)

- f. *Penicillium* : koloni cendawan berwarna putih kusam, konidiofor muncul dengan hifa tunggal. Didekat ujung konidiofor terbentuk percabangan seperti sapu tempat munculnya konidia (Gambar 4.7) yang berakhir sebagai fialid yang mudah lepas dalam keadaan kering. Konidia umumnya bulat, tidak berwarna terdiri atas satu sel dan terbentuk secara basipetal. Hasil identifikasi ini sejalan dengan yang dinyatakan oleh Barnett dan Hunter (1972); Sulistyowati dan Junianto (1995); Watanabe (2002).



Gambar 4.7. Morfologi koloni dan struktur cendawan *Penicillium* (a) bentuk koloni cendawan (15 hsi), (b) konidiofor munculan dengan hifa tunggal (tanda panah) di dekat ujung konidiofor terbentuk percabangan seperti sapu (perbesaran 400 x)

4.4. Karakterisasi fisiologi isolat cendawan entomopatogen

4.4.1. Laju pertumbuhan koloni

Hasil pengamatan laju pertumbuhan koloni pada masing-masing isolat cendawan entomopatogen yang dilakukan setiap 5 hari sampai hari ke 20 setelah inokulasi (hsi) berbeda antar isolat cendawan. Cendawan *Metarhizium* (isolat MetS3), *Penicillium* (isolat PenP2), *Beauveria* (isolat BbP1 dan BbS1) pertumbuhan koloninya lebih cepat dibanding dengan cendawan lainnya. Pengamatan pada 20 hsi, rata-rata diameter koloni telah mencapai lebih dari 8 cm. Cendawan *Paecilomyces* (isolat PaeS4), *Aspergillus* (isolat AsS3) dan *Fusarium* (isolat FusS1) laju pertumbuhan koloninya relatif lebih lambat. Pengamatan sampai 20 hsi, rata-rata diameter koloni masih dibawah 8 cm. Laju pertumbuhan koloni dari beberapa jenis cendawan entomopatogen 1 sampai 20 hsi dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Rata rata diameter koloni cendawan entomopatogen pada media SDAY 1 sampai 20 hsi

Isolat Cendawan	Diameter koloni (cm) pada hari ke			
	5 ± SD	10 ± SD	15 ± SD	20 ± SD
AsS3	5,00±0,97a	6,75 ±1,27 a	7,50 ±1,30 a	7,90±1,21ab
BbS1	4,00±0,17ab	5,50 ±0,59 ab	7,65 ±0,45 a	8,45±0,34ab
MetS2	3,75±1,07ab	5,50 ±1,22 ab	7,51 ±1,79 a	8,37±1,02ab
MetS3	3,25±0,62 bc	5,50 ±0,48 ab	7,25 ±0,75 a	9,00±0,84a
MetP3	3,25±0,39 bc	4,75 ±0,45 ab	6,91 ±1,20 a	8,45±1,03ab
PenP2	3,25±0,24 bc	5,25 ±0,30 ab	7,47 ±0,51 a	8,87±0,19a
FusS1	3,00±0,83 bc	4,25 ±1,51 b	6,57 ±2,72 a	7,19±2,98ab
MetP1	2,75±0,47 bc	6,00 ±1,01 ab	7,90 ±1,27 a	8,82±1,56a
PaeS4	2,75±0,33 bc	3,75 ±0,68 b	4,90 ±0,87 a	5,42±1,27 b
BbP1	2,00±0,13 c	5,00 ±0,22 ab	7,35 ±0,41 a	8,50±0,51ab

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji Tukey (HSD) pada taraf nyata 5%

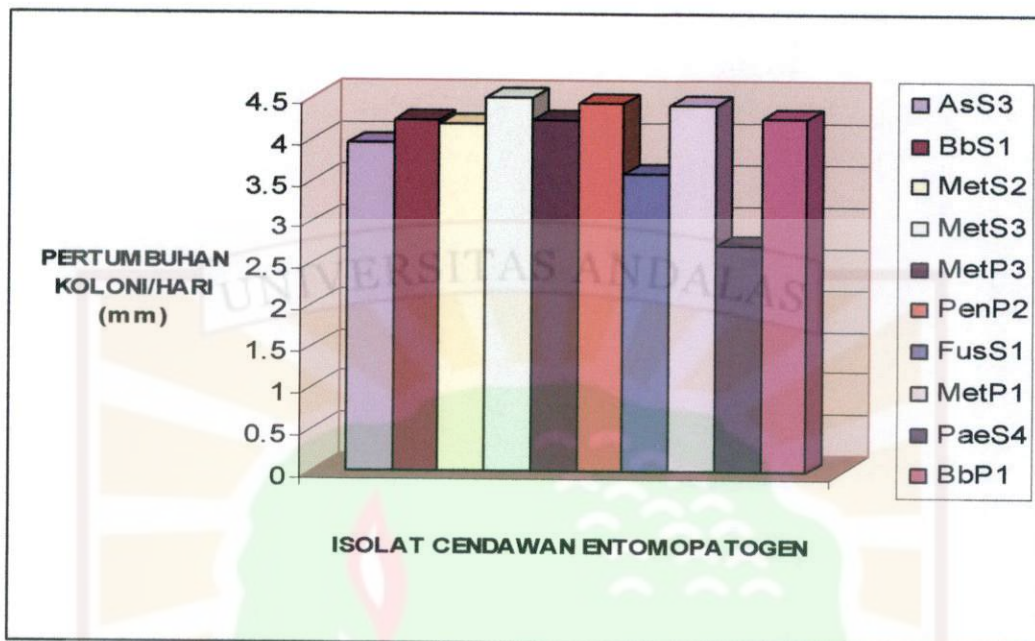
Keterangan :

AsS3 = *Aspergillus* dari Solok MetP3 = *Metarhizium* dari P.Pariaman
 BbS1 = *Beauveria* dari Solok PenP2 = *Penicillium* dari P. Pariaman
 MetS2 = *Metarhizium* dari Solok FusS1 = *Fusarium* dari Solok
 PaeS4 = *Paecilomyces* dari Solok BbP1 = *Beauveria* dari P. Pariaman

Dilihat dari laju pertumbuhan koloni, cendawan *Metarhizium* (isolat MetS3) merupakan cendawan yang paling cepat pertumbuhannya dibanding cendawan lainnya yaitu 4,50mm/hari. Konidia cendawan *Metarhizium* pada permukaan media tumbuh lebih tebal dan mudah dipanen dibanding cendawan *Fusarium* (isolat FusS1) dan *Penicillium* (isolat PenP2). Cendawan *Penicillium* (isolat PenP2) walaupun pertumbuhan koloninya tergolong cepat yaitu 4,43mm/hari tetapi koloninya lebih tipis dan konidianya agak sulit ketika dipanen.

Cendawan *Paecilomyces* (isolat PaeS4) dan *Fusarium* (isolat FusS1) pertumbuhan koloninya tergolong lambat hanya 2,71mm/hari dan 3,59mm/hari. Cendawan *Beauveria* baik isolat BbP1 (dari Padang Pariaman) maupun isolat BbS1 (dari Solok) laju pertumbuhan koloninya tidak berbeda nyata dengan cendawan *Metarhizium* yaitu 4,25mm/hari dan 4,23mm/hari. Rata-rata

pertumbuhan koloni masing-masing isolat cendawan/hari disajikan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Rata-rata pertumbuhan koloni/hari masing-masing isolat cendawan entomopatogen sampai 20 hsi

Perbedaan laju pertumbuhan koloni antar jenis cendawan diduga disebabkan oleh sifat dari masing-masing cendawan itu sendiri. Selain itu, kelembaban dan temperatur yang dibutuhkan untuk pertumbuhan koloni masing-masing cendawan tersebut tidak sama. Cendawan *Paecilomyces* dapat tumbuh dengan baik pada temperatur tinggi yaitu 50 - 60°C. Cendawan *Metarhizium anisopliae* dapat tumbuh dengan baik pada kisaran suhu 20 - 30°C dengan kelembaban 90% (Mc Coy, 1974). Temperatur optimum untuk pertumbuhan *Metarhizium* berkisar 22 - 27°C (Roddam dan Rath, 1997) walaupun beberapa laporan menyatakan bahwa cendawan masih dapat tumbuh pada temperatur yang lebih dingin (Bidocha *et al.*, 2000). Konidia akan membentuk kecambah pada kelembaban diatas 90%.

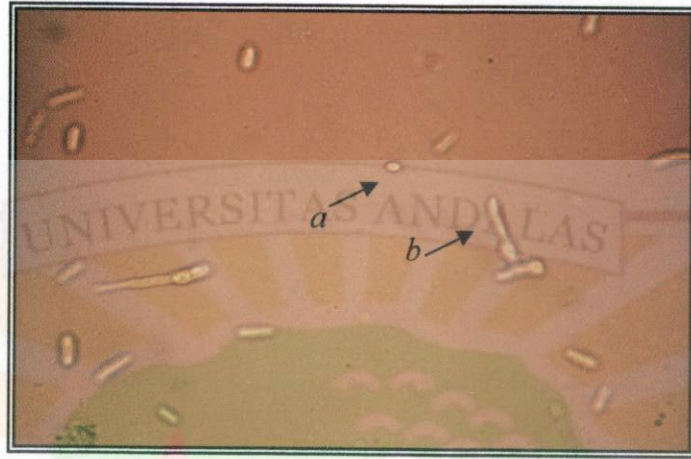
Aspergillus fumigatus lebih toleran terhadap panas dan dapat tumbuh baik pada temperatur diatas 40°C. Suhu optimum untuk pertumbuhan *Aspergillus* pada kisaran suhu 20 – 50°C (Noveriza, 2007). Menurut Walstad *et al.*, 1970 suhu optimal untuk pertumbuhan dan sporulasi cendawan *Beauveria* antara 25-30°C dengan kelembaban 100%. Selanjutnya, Ferron (1981) melaporkan bahwa suhu optimal untuk pertumbuhan konidia *Beauveria* antara 23 - 25°C. Pada penelitian ini semua cendawan entomopatogen yang diuji laju pertumbuhan koloninya di inkubasi pada suhu ruang (25 – 27°C) dengan kelembaban 60 - 70%.

Cendawan *Beauveria* (isolat BbS1) hasil isolasi dengan teknik medium selektif (DOC-2) pertumbuhan koloninya lebih cepat yaitu 4,18 cm pada 5 hsi, hasil ini berbeda dengan hasil penelitian Nuraida (2007) yaitu hanya 2,15 cm pada 7 hsi. Selanjutnya, Trizelia (2005) melaporkan bahwa pertumbuhan koloni cendawan *Beauveria* pada 5 hsi baru menunjukkan 2,97 cm, bahkan Azwana (2003) mengemukakan bahwa dengan masa inkubasi 7 hari diameter koloni yang dihasilkan lebih rendah yaitu hanya 16,50 mm. Perbedaan laju pertumbuhan koloni cendawan *Beauveria* pada penelitian ini dengan peneliti sebelumnya disebabkan oleh faktor fisiologis dari isolat cendawan *B. bassiana* itu sendiri.

4.4.2. Daya kecambah konidia

Daya kecambah (viabilitas) merupakan parameter yang sangat penting untuk diketahui, karena daya kecambah sangat menentukan keberhasilan cendawan dalam pertumbuhan selanjutnya. Evaluasi daya kecambah konidia cendawan entomopatogen perlu dilakukan terutama apabila cendawan tersebut akan dikembangkan sebagai bioinsektisida. Konidia cendawan entomopatogen

dinyatakan berkecambah apabila panjang tabung kecambah telah melebihi diameter konidia (Junianto dan Sukanto, 1995) atau panjangnya lebih dari $3\mu\text{m}$ (Gambar 4.9).



Gambar 4.9. Perkecambahan cendawan *Metarhizium* (isolat MetP3) 18 jsi (a). Konidia ; (b). Tabung kecambah (Perbesaran 400 x).

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa daya kecambah konidia cendawan entomopatogen pada 18 jam setelah inokulai (jsi) tidak berbeda nyata antar cendawan (Tabel 4.7). Dari sepuluh cendawan entomopatogen yang diuji daya kecambahnya, cendawan *Aspergillus* (isolat AsS3) memiliki rata-rata daya kecambah paling tinggi yaitu 98,5% pada 18 jsi diikuti cendawan *Metarhizium* (isolat MetP1, MetS2 dan MetP3) dan *Beauveria* (isolat BbP1 dan BbS1) dengan daya kecambah rata-rata diatas 95%. Sedangkan cendawan *Fusarium* (isolat FusS1) , *Paecilomyces* (isolat PaeS4) dan *Penicillium* (isolat PenP2), rata-rata daya kecambahnya dibawah 95%. Daya kecambah (viabilitas) disebut baik apabila mencapai 95% (Susilo *et al.* 1993). Akan tetapi Kassa (2003) mengemukakan bahwa cendawan yang memiliki daya kecambah konidia diatas 80% telah memenuhi syarat untuk dikembangkan sebagai bioinsektisida. Secara umum semua isolat cendawan entomopatogen yang diisolasi dari rhizosfir kakao

pada penelitian ini memiliki daya kecambah yang baik sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai agen hayati pengendalian hama *C.cramerella*.

Tabel 4.7. Rata-rata persentase daya kecambah (viabilitas) berbagai isolat cendawan entomopatogen

Isolat Cendawan Entomopatogen	Rata-rata daya kecambah (%) \pm SD
AsS3	98,50 \pm 1,29 a
MetP1	98,75 \pm 1,71 a
BbP1	96,50 \pm 5,07 a
MetS2	96,00 \pm 2,16 a
BbS1	95,75 \pm 2,22 a
MetP3	95,00 \pm 0,82 a
MetS3	94,50 \pm 2,65 a
FusS1	94,25 \pm 1,26 a
PaeS4	93,75 \pm 2,87 a
PenP2	93,50 \pm 2,65 a

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji Tukey (HSD) pada taraf nyata 5%

4.4.3. Sporulasi berbagai isolat cendawan

Hasil pengamatan sporulasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jumlah konidia antar cendawan (Tabel 4.8). Dari data tersebut terlihat bahwa cendawan dengan jumlah konidia paling tinggi dimiliki oleh cendawan *Aspergillus* (isolat AsS3) diikuti secara berturut-turut oleh cendawan *Metarhizium* (isolat MetP1), *Beauveria* (isolat BbP1) dan *Penicillium* (isolat PenP2). Cendawan dengan jumlah konidia paling rendah dimiliki oleh *Metarhizium* (isolat MetS2). Dari Tabel 4.8 menunjukkan bahwa tingkat sporulasi cendawan *Aspergillus* (isolat AsS3) berbeda nyata dengan cendawan *Metarhizium* (isolat MetS2) tetapi tidak berbeda nyata dengan *Beauveria* (isolat BbP1 dan BbS1), *Penicillium* (isolat PenP2), *Metarhizium* (isolat MetP1 dan MetP3), *Fusarium* (isolat FusS1) dan *Paecilomyces* (isolat PaeS4).

Tabel 4.8. Jumlah konidia yang diproduksi beberapa isolat cendawan entomopatogen (15 hsi)

Isolat Cendawan entomopatogen	Jumlah konidia/cawan petri ($\times 10^9$) \pm SD
AsS3	9,625 \pm 2,29 a
MetP1	8,750 \pm 1,97 ab
BbP1	7,844 \pm 2,01 ab
PenP2	6,813 \pm 2,04 ab
MetP3	6,687 \pm 2,69 ab
BbS1	6,625 \pm 0,66 ab
FusS1	6,500 \pm 3,49 ab
PaeS4	5,625 \pm 0,32 ab
MetS3	4,812 \pm 0,85 ab
MetS2	4,437 \pm 1,43 b

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji Tukey (HSD) pada taraf nyata 5%

Adanya perbedaan rata-rata sporulasi (jumlah konidia) dari masing-masing cendawan entomopatogen diduga disebabkan oleh sifat dari masing-masing cendawan entomopatogen itu sendiri disamping temperatur dan kelembaban yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan sporulasi masing - masing cendawan tidak sama. Selain itu, media yang dipakai untuk menumbuhkan cendawan entomopatogen sangat menentukan laju pertumbuhan koloni dan jumlah konidia (sporulasi). Cendawan *Aspergillus* akan tumbuh baik pada media SGA (Sabouraud Glucosa Agar) atau SDAY (Sabouraud Dextrosa Agar Yeast), pada suhu optimum antara 20 – 50°C (Noveriza, 2007). Pada penelitian ini, media yang digunakan untuk pertumbuhan cendawan entomopatogen adalah media SDAY (Sabaroud Dextrosa Agar Yeast) dan dinilai mampu menyediakan nutrisi yang cukup untuk pertumbuhan cendawan. Hal ini dapat dilihat dari tingkat sporulasi yang cukup tinggi, terutama pada cendawan *Aspergillus* ($9,62 \times 10^9$) dan *Metarhizium* (isolat MetP1) ($8,75 \times 10^9$).

4.4.4. Uji Patogenesitas

4.4.4.1. Mortalitas Prapupa

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa jenis cendawan entomopatogen tidak berpengaruh nyata terhadap mortalitas prapupa *C.cramerella*. Untuk mengetahui tingkat mortalitas prapupa akibat infeksi cendawan entomopatogen dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Mortalitas *C.cramerella* setelah aplikasi cendawan entomopatogen dengan konsentrasi 10^8 (8 hsi.)

Isolat Cendawan Entomopatogen	Mortalitas (%) \pm SD	Efektivitas (%)
AsS3	100,00 \pm 0,00 a	95,00
MetP1	100,00 \pm 0,00 a	95,00
MetP3	100,00 \pm 0,00 a	95,00
BbP1	95,00 \pm 10,00 a	94,73
PaeS4	92,50 \pm 9,57 a	94,59
BbS1	90,00 \pm 8,16 a	94,44
MetS2	87,50 \pm 9,57 a	94,28
MetS3	85,00 \pm 10,00 a	94,11
FusS1	82,50 \pm 12,58 a	93,93
PenP2	77,50 \pm 9,57 a	93,54
Kontrol	5,00 \pm 10,00 b	0,00

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji Tukey (HSD) pada taraf nyata 5%

Hasil pengujian keefektivan masing-masing cendawan entomopatogen terhadap serangga *C.cramerella* setelah 8 hari penginfeksi rata-rata mortalitasnya berkisar antara 77,50 – 100% dan berbeda nyata dengan kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa semua cendawan entomopatogen yang diuji pada penelitian dalam skala laboratorium sangat efektif sebagai agen pengendalian *C.cramerella*.

Cendawan *Metarhizium* (isolat MetP1 dan MetP3) dan *Aspergillus* (isolat AsS3) merupakan cendawan yang memiliki patogenesitas paling tinggi dan menyebabkan mortalitas *C. cramerella* 100 % akan tetapi tidak berbeda nyata

dengan cendawan *Beauveria* (isolat BbP1 dan BbS1), *Paecilomyces* (isolat PaeS4), dengan rata-rata mortalitas *C.cramerella* berturut-turut 95%, 90% dan 92,5%. Cendawan yang memiliki patogenesitas paling rendah adalah *Penicillium* (isolat PenP2) dengan rata-rata mortalitas serangga *C.cramerella* sebesar 77,5%, berbeda tidak nyata dengan cendawan *Fusarium* (isolat FusS1) dan *Metarhizium* (isolat metS2 dan MetS3) dengan rata-rata mortalitas serangga *C.cramerella* berturut-turut 82,50 %, 87,50 % dan 85 %.

Tingginya rata-rata mortalitas *C.cramerella* setelah penginfeksi oleh cendawan entomopatogen disebabkan oleh sifat fisiologis dari masing-masing cendawan itu sendiri yang rata-rata baik, metabolisme skunder yang dihasilkan yaitu kemampuan menghasilkan enzim dan toksin serta tidak adanya faktor penghambat baik dari serangga inang maupun pengaruh faktor lingkungan. Menurut Noveriza (2007) tingkat mortalitas setelah aplikasi cendawan entomopatogen juga tergantung pada berbagai karakteristik dari potensi serangga inang (seperti fagositosis atau enkapsulasi dengan membentuk granula) dan lingkungan sekelilingnya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa cendawan yang mempunyai daya kecambah konidia lebih tinggi (AsS3, MetP1, BbP1) cenderung mempunyai daya patogenesitas yang tinggi. Selanjutnya cendawan yang mempunyai kemampuan menghasilkan konidia (bersporulasi) paling tinggi berpeluang besar lebih cepat menginfeksi dan mematikan serangga uji. Cendawan yang virulen memiliki kemampuan sporulasi yang lebih baik dibanding dengan jenis yang avirulen.

Hasil pengamatan terhadap jumlah konidia yang dihasilkan menunjukkan bahwa isolat AsS3 menghasilkan jumlah konidia paling tinggi yaitu $9,625 \times 10^9$

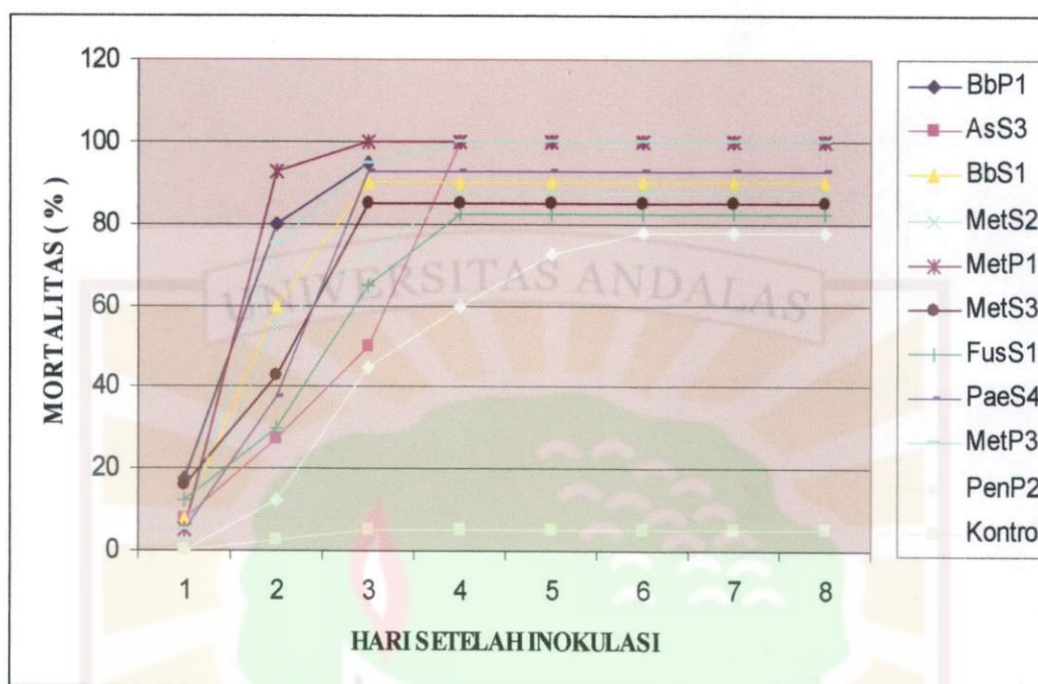
konidia/cawan petri dan mampu mematikan serangga uji hingga 100%. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian beberapa peneliti lain yang mengemukakan bahwa cendawan entomopatogen yang virulen mempunyai kemampuan sporulasi yang lebih tinggi dari pada cendawan yang avirulen (Trizelia, 2005; Nuraida, 2007; Desyanti *et al.*, 2007).

Adanya perbedaan mortalitas antar isolat cendawan walaupun tidak nyata secara analisis statistik, hal ini lebih disebabkan oleh adanya perbedaan faktor fisiologis diantaranya karakteristik pertumbuhan isolat. Isolat yang virulen memiliki pertumbuhan koloni yang lebih padat, lebih tebal dan menghasilkan konidia yang lebih banyak sehingga konidia lebih mudah dipanen dari permukaan media.

Cendawan *Metarhizium* pada penelitian ini diisolasi dari tanah rhizosfir tanaman kakao dan terbukti mampu mematikan *C.cramerella*, yang sejauh ini belum pernah dilaporkan oleh para peneliti sebelumnya. *Metarhizium* (isolat MetP1, MetP3, MetS2 dan MetS3) tingkat patogenesitasnya sangat tinggi, rata-rata diatas 80% (Tabel 4.9). Karakteristik cendawan seperti ini mengindikasikan bahwa *Metarhizium* memiliki virulensi yang sangat tinggi dan dapat dijadikan kandidat agen hayati dalam mengendalikan *C. cramerella* di tingkat lapangan.

Pengamatan terhadap tingkat mortalitas yang dilakukan selama 8 hsi, menunjukkan bahwa kematian pertama telah terlihat pada 1 hsi (24 jam setelah inokulasi) khususnya pada isolat MetP1 dan MetP3. Serangga uji berupa prapupa *C.cramerella* dikatakan telah mengalami kematian jika disentuh menggunakan jarum tumpul terutama pada segmen ketiga dari abdomen tidak memperlihatkan

reaksi berupa gerakan kekiri dan kekanan. Untuk melihat perkembangan tingkat mortalitas harian dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Mortalitas harian *C. cramerella* setelah perlakuan dengan berbagai jenis cendawan entomopatogen

Keterangan :

BbP1 = <i>Beauveria</i> dari P.Pariaman	AsS3 = <i>Aspergillus</i> dari Solok
BbS1 = <i>Beauveria</i> dari Solok	MetS2 = <i>Metarhizium</i> dari Solok
MetP1 = <i>Metarhizium</i> dari P.Pariaman	FuS1 = <i>Fusarium</i> dari Solok
PaeS4 = <i>Paecilomyces</i> dari Solok	PenP2 = <i>Penicillium</i> dari P.Pariaman

Jumlah serangga mati setelah aplikasi dengan cendawan *Metarhizium* meningkat tajam pada pengamatan 2 hsi, dan pada hari ke 3 hsi merupakan hari terakhir kematian serangga uji dengan mortalitas total mencapai 100% (isolat MetP1 dan MetP3). Kemampuan entomopatogenesitas *Metarhizium* dikarenakan cendawan ini memiliki aktivitas larvisidal dan mampu memproduksi *cyclopeptida*, *destruxin* A, B, C, D, E dan *desmethyldestruxin* B. Destruxin jenis ini telah dipertimbangkan sebagai bahan insektisida generasi baru (Anonymous, 2007). Efek destruxin berpengaruh pada organela sel target (mitokondria, reticulum,

endoplasma dan membran nukleus) menyebabkan paralisa sel dan kelainan fungsi lambung tengah, tubulus malphigi, hemocyt dan jaringan otot (Widiyanti dan Mulyadihardja, 2004).

Cendawan *Beauveria*, sebagai cendawan yang diuji patogenesitasnya pada penelitian ini diisolasi dari tanah rhizosfir tanaman kakao dengan menggunakan medium selektif DOC-2. Hari pertama pengamatan (24 jsi) ditemukan ada 7 ekor *C.cramerella* yang mati. Hari kedua pengamatan, tingkat kematian meningkat tajam menjadi 32 ekor dan pada tubuh serangga mulai terlihat adanya benang benang tipis berwarna putih. Hari ketiga pengamatan serangga mati menjadi 38 ekor dan kematian serangga terhenti.

Cepatnya kematian *C.cramerella* akibat infeksi cendawan *Beauveria* diduga disebabkan oleh toksin yang diproduksi. *Beauveria* memproduksi toksin yang disebut beauvericin (Kucera, 1971). Selain itu, dilaporkan juga oleh Quesada-Vey (1998) cit Soetopo dan Indrayani (2007) bahwa *Beauveria* juga memproduksi senyawa metabolit skunder seperti bassianin, bassiacridin, bassianolide, beauverolides, tenellin, dan ceosporein.

Toksin yang diproduksi *Beauveria* dapat menyebabkan gangguan pada fungsi hemolimfa dan nukleus serangga sehingga mengakibatkan pembengkakan yang disertai pengerasan pada serangga yang terinfeksi. Untuk perkecambahan konidia dan sporulasi pada permukaan tubuh serangga dibutuhkan kelembaban sangat tinggi (>90%), terutama dilingkungan mikro konidia (Soetopo dan Indrayani, 2007). Pada penelitian ini, *Beauveria* (terutama isolat BbP1) mampu mengkoloni tubuh serangga diatas 80 %. Kondisi ini dimungkinkan karena kelembaban dalam ruang inkubasi (cawan petri) kondisinya lembab.

Keefektivan *Beauveria* menginfeksi serangga hama tergantung pada spesies atau strain cendawan (Soetopo dan Indrayani, 2007). Cendawan *Beauveria* (isolat BbP1) asal Padang Pariaman lebih virulen dibanding *Beauveria* (isolat BbS1) asal Solok. Perbedaan tingkat virulensi ini kemungkinan disebabkan oleh adanya perbedaan sifat fisiologis masing-masing isolat walaupun berada dalam satu genus. Hal ini sesuai dengan pendapat Trizelia (2005) yang menyatakan bahwa kemampuan cendawan entomopatogen dalam mematikan serangga ditentukan oleh sifat fisiologis dan genetik cendawan. Selain itu, perbedaan fisiologis dan ekologis inang juga mempengaruhi tingkat infeksi oleh cendawan *Beauveria*. Virulensi cendawan tinggi hanya pada spesies inang dari mana cendawan tersebut pertama kali diisolasi (Soetopo dan Indrayani, 2007). Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Nuraida (2007) dimana *Beauveria* asal Padang Panjang berbeda nyata dengan *Beauveria* asal Alahan Panjang dalam menginfeksi *Crocidolomia pavonana*.

Beauveria mengadakan penetrasi kedalam tubuh serangga melalui kulit diantara ruas-ruas tubuh. Mekanisme penetrasi dimulai dengan pertumbuhan konidia pada kutikula, untuk selanjutnya hifa cendawan mengeluarkan enzim kitinase, lipase dan proteinase yang mampu menguraikan komponen penyusun kutikula serangga. Disamping itu, cendawan ini juga menyebabkan kerusakan jaringan atau organ hemokoel secara mekanis seperti saluran pencernaan, otot, sistem syaraf dan sistem pernapasan. Akibat dari keseluruhan proses tersebut berakhir dengan kematian serangga (Cheung dan Grula, 1982; Soetopo dan Indarayani, 2007).

Fusarium, merupakan salah satu jenis cendawan yang berhasil diisolasi dari tanah rhizosfir kakao asal kabupaten Solok dengan teknik *baiting methode*. Secara keseluruhan, distribusi *Fusarium* diketahui bersifat kosmopolitan. Forma spesies dari *Fusarium* sering mempunyai bermacam-macam derajat tingkat distribusi dan patogenesitas (Gonsalves *et al.*, 2007). *Fusarium* adalah salah satu cendawan bersifat saprofit yang sering ditemukan melimpah dan aktif di dalam tanah dan bahan organik (Smith *et al.*, 1988). Cendawan ini bersifat parasit pada tanaman dan serangga atau saprofit pada tanaman yang lapuk (Sulistyowati dan Junianto, 2003).

Selanjutnya Sulistyowati dan Junianto, (2003) melaporkan hasil inventarisasi musuh alami *C.cramerella* di provinsi Maluku, salah satu cendawan entomopatogen yang ditemukan menginfeksi pupa *C.cramerella* di alam adalah cendawan *Fusarium*. Sementara itu, Desyanti *et al.*, (2007) dalam melakukan uji patogenesitas cendawan *fusarium*, isolat yang digunakan berasal dari larva army worm (*Spodoptera litura*; Lepidoptera; Noctuidae). Sedangkan Widayat dan Rayati (1993b), cendawan *Fusarium* yang diuji berasal dari ulat api (*Setora nitens*) hama tanaman teh yang terinfeksi secara alami.

Hasil penelitian ini menunjukkan tingkat patogenesitas cendawan *Fusarium* terhadap *C.cramerella* sangat baik dengan mortalitas mencapai 82,5%. Kondisi ini tidak berbeda nyata dengan penelitian Desyanti *et al.*, (2007), hasilnya menunjukkan mortalitas rayap, *C.gestroi* akibat infeksi *Fusarium* rata-rata lebih tinggi dari 80%. Kemampuan cendawan *Fusarium* dalam menginfeksi serangga uji didukung oleh sifat fisiologis yang rata-rata baik. Pertumbuhan koloninya tidak berbeda nyata dengan cendawan uji lainnya. Hasil pengamatan menunjukkan

bahwa serangga mati ditemukan pada hari pertama setelah inokulasi (24 jsi). Mortalitas terus meningkat sampai hari ke empat. Pada hari kedelapan pengamatan, serangga mati terselimuti konidia cendawan *Fusarium* rata-rata mencapai 75 % .

Secara umum cendawan *Fusarium* bersifat sebagai penyebab penyakit pada tanaman. Akan tetapi secara spesifik, Salleh (2005) mengklasifikasikan cendawan *fusarium* berdasarkan penyebarannya dialam : 94% sebagai penyebab penyakit tanaman atau berasosiasi dengan penyakit tanaman, 5% terdapat pada makanan, 1 % pada lainnya dan hanya 0,5% sebagai patogen pada hewan dan manusia. Sejumlah besar *Fusarium* yang bersifat entomopatogen, beberapa diantaranya bersifat lemah dan sebagai patogen fakultatif. Pada segolongan kecil kasus, tingkat patogenesitas *Fusarium* terhadap tanaman dan serangga oleh isolat yang sama juga ditemukan. Tingkat potensi isolat *Fusarium* yang menyebabkan mortalitas tinggi terhadap serangga juga memperlihatkan spesifik inang yang tinggi dan tidak berbahaya terhadap jenis tanaman (Desyanti *et al*, 2007).

Cendawan *Aspergillus*, pada penelitian ini diperoleh pada rhizosfir kakao dari kabupaten Solok (480 mdpl. dan 520 mdpl.) dengan teknik perangkap serangga. Uji patogenesitas dengan konsentrasi suspensi konidia 10^8 menyebabkan mortalitas *C.cramerella* hingga 100%. Mortalitas ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian Desyanti *et al*. (2007), *Aspergillus* mampu mematikan rayap tanah, *C.gestroi* dengan mortalitas 80%.

Pengamatan terhadap tingkat kematian *C.cramerella*, menunjukan bahwa kematian pertama diketahui pada hari ke 1 setelah inokulasi walaupun masih

sangat rendah (3 ekor). Kematian serangga uji terus berlanjut dan mencapai puncaknya pada 4 hsi.

Bila melihat mortalitas serangga mencapai 100% maka cendawan entomopatogen *Aspergillus* sangat virulen terhadap inang sasaran. Kondisi ini mengindikasikan bahwa cendawan *Aspergillus* sangat efektif dalam mematikan serangga uji. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Mulyati (2005) yang berkesimpulan bahwa salah satu cendawan entomopatogen hasil isolasi dari larva *Heliothis armigera* Hubner yaitu cendawan *Aspergillus* berpotensi sebagai entomopatogen. Selanjutnya Kurniawan (2006) melaporkan bahwa cendawan *Aspergillus cervinus* dengan konsentrasi konidia 10^7 dan 10^8 dapat menyebabkan mortalitas kecoa (*Blattella germanica* L) hingga 60 %..

Mortalitas serangga uji akibat infeksi cendawan *Aspergillus* sangat tinggi (100%), hal ini diduga disebabkan oleh faktor fisiologi cendawan *Aspergillus* yang rata-rata baik. Pertumbuhan koloninya baik (7,9 cm/20 hsi), daya kecambah (viabilitas) nya paling tinggi (98,5%) dan sporulasi mencapai $9,62 \times 10^9$. Selain itu, patogenesis cendawan entomopatogen *Aspergillus* diduga terkait dengan kemampuan menghasilkan enzim dan mikotoksin. Tanada dan Kaya (1993) melaporkan bahwa kemampuan cendawan dalam menginfeksi serangga inang tergantung pada kemampuan menghasilkan enzim dan toksin selama berjalannya proses infeksi pada serangga seperti pada saat kontak dengan kutikula dan dalam hemokoel.

Mikotoksin merupakan zat beracun yang dihasilkan cendawan *Aspergillus*. Secara umum mikotoksin yang di dihasilkan oleh spesies *Aspergillus* yaitu CPA, Aflatoksin B-1, B-2, G-1, G-2 dan Ochratoxin A (Albright, 2001 cit

Noveriza, 2007). Mikotoksin inilah yang diduga menjadikan *Aspergillus* sangat virulen dalam mematikan *C.cramerella*.

Cendawan *Penicillium* merupakan salah satu cendawan entomopatogen yang berhasil diisolasi dari tanah rhizosfir kakao di Padang Pariaman dengan teknik *baiting method*. Pada penelitian ini, *Penicillium* mampu menimbulkan mortalitas serangga *C.cramerella* sebesar 77,75%. Mortalitas ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan hasil penelitian Prayogo *et al.*, (2002), *Penicillium* hanya mampu menimbulkan mortalitas sebesar 38% pada ulat grayak (*Spodoptera litura*). Pengamatan terhadap tingkat kematian serangga *C.cramerella* selama uji patogenesis menunjukkan bahwa kematian baru terjadi pada hari ke dua setelah inokulasi (12,5%) dan terus meningkat sampai hari ke enam (77,75%).

Mortalitas serangga akibat infeksi cendawan *Penicillium* lebih rendah bila dibandingkan dengan isolat cendawan entomopatogen lainnya. Hal ini diduga disebabkan oleh kemampuan dasar cendawan *Penicillium* itu sendiri seperti produksi mikotoksin, enzim yang kurang virulen dibanding cendawan lainnya. Kondisi ini sesuai dengan pendapat Boucias dan Pendland (1998), tingkat patogenesis cendawan entomopatogen ditentukan oleh berbagai interaksi faktor diantaranya kemampuan dasar yang dapat menyebabkan cepat lambatnya kematian inang. Selain hal tersebut, tingkat patogenesis juga tergantung pada berbagai karakteristik dari potensi serangga inang dan lingkungan disekelilingnya. Kemampuan cendawan *Penicillium* dalam membunuh inang walaupun lebih rendah dibandingkan dengan cendawan uji lainnya diduga karena cendawan *Penicillium* memproduksi mikotoksin berupa *ochratoxin*, *patulin* dan *citrin* (Desjardins dan Hohn, 1997 *cit* Noveriza, 2007).

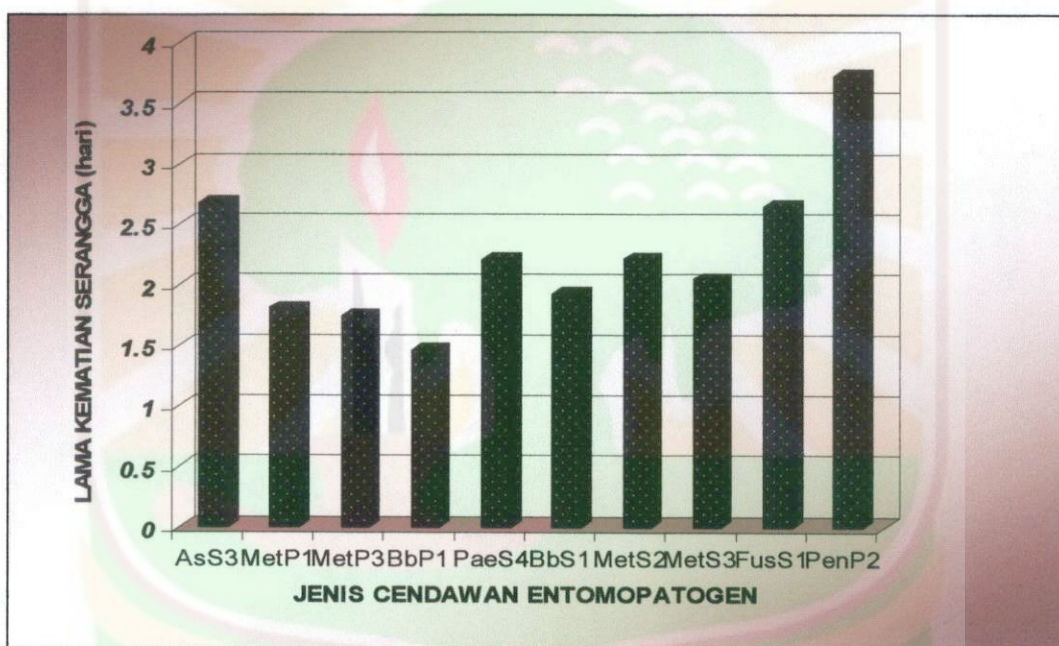
Penicillium dapat menimbulkan penyakit pada serangga *C.cramerella* tidak hanya dalam skala laboratorium. Sulistyowati dan Junianto (2003) melaporkan hasil inventarisasi musuh alami hama PBK, *C.cramerella* di propinsi Maluku juga menemukan cendawan *Penicillium* menginfeksi pupa *C.cramerella* secara alami.

Paecilomyces merupakan salah satu cendawan entomopatogen yang diketahui telah digunakan untuk mengendalikan *C.cramerella* di lapangan. Cendawan *Paecilomyces* yang digunakan umumnya berasal dari isolat hasil isolasi dari mumi pupa PBK bercendawan hasil eksplorasi di lapangan. Pada penelitian ini, cendawan *Paecilomyces* diperoleh dari rhizosfir kakao di kabupaten Solok dengan teknik perangkap serangga (*Baiting methode*).

Hasil uji patogensitas berbagai jenis cendawan entomopatogen di laboratorium, diketahui bahwa cendawan *Paecilomyces* sangat efektif dalam mematikan *C.cramerella*. Nilai rata-rata mortalitas *C.cramerella* mencapai 92,5%, tidak berbeda nyata dengan hasil penelitian Sulistyowati *et al.* (2002) dengan persentase mortalitas mencapai 100% dan masih lebih tinggi bila dibanding dengan hasil penelitian Prayogo *et al.* (2002) dimana *Paecilomyces* mampu menimbulkan mortalitas ulat grayak (*Spodoptera litura*) sebesar 85%. Pengamatan terhadap perkembangan kematian serangga uji, hasilnya menunjukkan bahwa kematian serangga uji sudah terlihat pada 1 hsi walaupun kematian masih sangat rendah (5 %). Tingkat kematian meningkat tajam pada 3 hsi dan pada hari ini merupakan puncak kematian serangga uji (92,5%) karena pada 4 hsi dan seterusnya sampai akhir pengamatan tidak ditemukan lagi serangga mati.

4.4.4.2. Nilai LT_{50}

Hasil analisis probit menunjukkan bahwa ada variasi nilai LT_{50} antara masing-masing isolat cendawan entomopatogen dan umumnya memiliki nilai LT_{50} yang singkat. Hal ini mengindikasikan bahwa semua jenis cendawan entomopatogen yang diuji mempunyai tingkat virulensi yang baik sehingga mampu mematikan *C.cramerella* dalam waktu singkat. Nilai LT_{50} masing-masing cendawan entomopatogen berkisar antara 1,46 – 3,73 hari (Gambar 4.11).



Gambar 4.11. Nilai LT_{50} berbagai jenis cendawan entomopatogen pada kegiatan uji patogenesis

Gambar 4.11. diatas menunjukkan bahwa nilai LT_{50} dari cendawan *Beauveria* (isolat BbP1) paling singkat dibanding nilai LT_{50} dari jenis cendawan lainnya yang diuji yaitu 1,46 hari. Kondisi ini membuktikan bahwa isolat BbP1 (*Beauveria* asal Padang Pariaman) memiliki daya bunuh paling cepat dan hanya membutuhkan sedikit waktu untuk bisa menginfeksi dan mematikan 50% serangga uji dibanding isolat cendawan entomopatogen lainnya. Walaupun tingkat

patogenesitasnya masih lebih rendah (95%) dibanding *Aspergillus* (isolat AsS3), *Metarhizium* (isolat MetP1 dan MetP3) yang mampu mematikan serangga uji hingga 100%, tetapi nilai LT_{50} nya paling rendah, dengan demikian *Beauveria* (isolat BbP1) merupakan cendawan yang paling virulen.

Berdasarkan Gambar 4.11 terlihat adanya perbedaan nilai LT_{50} antar cendawan yang berasal dari dua lokasi pertanaman kakao. Perbedaan nilai LT_{50} ini berhubungan dengan faktor patogenesitas dari masing-masing cendawan entomopatogen. Amiri-Besheli *et al.*, (2006) menyatakan cendawan entomopatogen harus cocok dengan inangnya dan menghasilkan kombinasi enzim yang baik untuk dapat berpenetrasi kedalam kutikula inang. Hal ini memberi kesan bahwa berhasilnya infeksi tergantung kepada beberapa faktor patogenesitas, diantaranya faktor kesesuai inang dan sifat fisiologis masing-masing cendawan.

4.4.4.3. Gejala infeksi cendawan pada serangga uji

Hasil pengamatan selama penelitian terhadap gejala awal infeksi, waktu kematian dan sporulasi cendawan pada tubuh serangga menunjukkan hasil yang berbeda antar jenis cendawan. Karakter cendawan dalam mengkolonisasi inang berbeda, hal ini tergantung pada sifat fisiologis masing-masing cendawan diantaranya daya kecambah (viabilitas), laju pertumbuhan, jumlah spora (sporulasi) dan virulensi cendawan tersebut,

Pada penelitian ini, serangga *C.cramerella* terinfeksi cendawan entomopatogen menunjukkan gejala awal yang hampir sama yaitu lemah (kurang aktif ketika disentuh) kemudian mati. Setelah mengalami kematian tubuh serangga menjadi mengeras, mengkerut dan kaku. Selanjutnya pada bagian luar

tubuh serangga *C.cramerella* ditumbuhi koloni cendawan dengan karakter dan warna yang berbeda sesuai jenis cendawan yang menginfeksi.

Pertumbuhan cendawan diikuti dengan pengeluaran pigmen atau toksin yang dapat melindungi serangga dari serangan mikroorganisme lain terutama bakteri. Tidak selalu cendawan tumbuh keluar menembus integumen serangga untuk kemudian mengkolonisasi dinding luar integumen serangga. Apabila keadaan kurang menguntungkan perkembangan saprofit hanya berlangsung di dalam tubuh serangga tanpa keluar menembus integumen. Dalam hal ini cendawan membentuk struktur khusus untuk dapat bertahan, yaitu *arthrospora* (Ferron, 1985). Pada penelitian ini semua cendawan entomopatogen yang diuji mampu mengkolonisasi *C.cramerella* dengan tingkat kolonisasi yang bervariasi (Tabel 4.10).

Tabel 4.10. Rata-rata sporulasi cendawan entomopatogen pada tubuh *C.cramerella*

Isolat Cendawan Entomopatogen	Rata-rata sporulasi pada tubuh serangga (%) \pm SD
MetP1	100,00 \pm 0,00 a
MetP3	97,50 \pm 5,00 a
AsS1	96,25 \pm 4,79 a
BbP1	88,75 \pm 13,15 a
MetS3	87,75 \pm 10,31 a
PenP2	87,50 \pm 15,00 a
BbS1	80,00 \pm 20,00 a
MetS2	77,50 \pm 18,93 a
FusS1	75,00 \pm 19,15 a
PaeS4	72,50 \pm 9,57 a

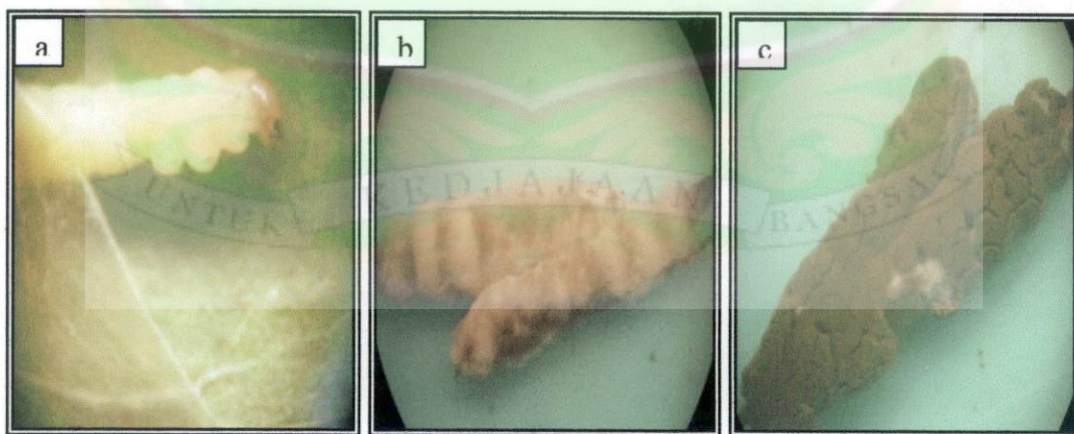
Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji Tukey (HSD) pada taraf nyata 5%

Gejala infeksi dan tingkat kolonisasi cendawan pada tubuh inang oleh masing-masing cendawan berbeda dan memiliki karakteristik sendiri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cendawan entomopatogen yang memiliki tingkat

patogenesitas tinggi dicirikan dengan tingkat kolonisasi cendawan pada tubuh *C.cramerella* yang tinggi pula. Untuk melihat gejala serangan masing-masing cendawan entomopatogen pada tubuh *C.cramerella* akan diuraikan secara rinci sebagai berikut :

Metarhizium

Pengamatan terhadap gejala infeksi, menunjukkan bahwa kematian pertama telah terlihat pada 1 hsi (24 jam setelah inokulasi) khususnya pada isolat MetP1 dan MetP3. Sebelum mengalami kematian serangga uji terlihat lemah dan kurang aktif ketika disentuh dan pada kulit luar tubuh ada bercak-bercak kecil berwarna coklat. Hifa tipis berupa benang-benang berwarna putih pada bagian tubuh luar serangga terlihat pada hari ketiga (Gambar 4.12b) dan terus berkembang pada masing-masing tubuh serangga uji. Sampai akhir pengamatan (8 hsi) cendawan *Metarhizium* (isolat MetP1) mampu mengkolonisasi tubuh serangga sebesar 100% dan tubuh serangga diselimuti oleh koloni cendawan berwarna hijau gelap (Gambar 4.12c).



Gambar 4.12. Kolonisasi cendawan *Metarhizium* pada tubuh *C.cramerella* (a) prapupa sehat, (b) kolonisasi umur 3 hsi dan (c) pada 8 hsi kolonisasi mencapai 100%.

Beauveria

Gejala awal serangga terinfeksi *Beauveria* tidak berbeda jauh dengan cendawan entomopatogen lainnya yaitu tubuh lemah dan kurang aktif bila disentuh. Pada hari kedua pengamatan tubuh serangga mati mulai terlihat adanya benang-benang tipis berwarna putih (Gambar 4.13b).



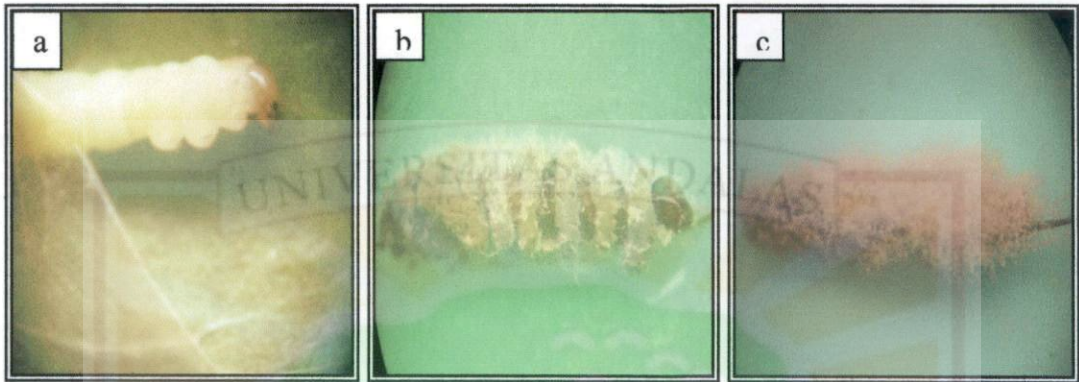
Gambar 4.13. Kolonisasi cendawan *Beauveria* pada tubuh *C.cramerella* (a) prapupa sehat, (b) kolonisasi umur 2 hsi dan (c) pada 8 hsi kolonisasi mencapai 88,75 %.

Pengamatan pada 8 hsi, kolonisasi cendawan pada tubuh serangga mencapai 88,75% (isolat BbP1) dan 80% (isolat BbS1). Tubuh *C.cramerella* menjadi berwarna putih (*white muscardine*) karena ditumbuhi konidia cendawan berwarna putih (Gambar 4.13c). Pada akhir pengamatan, pupa yang berhasil menjadi imago ditemukan cacat sebanyak 2 ekor. Sayap imago tidak tumbuh sempurna (melengkung dan tidak bisa merapat ketubuh) serta tidak bisa terbang.

Fusarium

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa serangga mati ditemukan pada hari pertama setelah inokulasi (24 jsi). Miselia berupa benang-benang tipis berwarna putih (Gambar 4.14b) mulai terlihat pada hari ke tiga. Pada hari kedelapan pengamatan, serangga mati terselimuti konidia cendawan *Fusarium* rata-rata

mencapai 75%. Serangga mati menunjukkan gejala mengeras, berkeriput dan hampir seluruh permukaan tubuh terselimuti koloni cendawan berwarna putih kotor cenderung berwarna krem (Gambar 4.14c).



Gambar 4.14. Kolonisasi cendawan *Fusarium* pada tubuh *C.cramerella* (a) parapupa sehat, (b) kolonisasi umur 5 hsi dan (c) 8 hsi dengan tingkat kolonisasi mencapai 75 %.

Aspergillus

Pengamatan terhadap gejala infeksi dan tingkat kematian serangga *C.cramerella*, terlihat bahwa pada hari ke tiga setelah inokulasi tubuh *C.cramerella* mulai ditumbuhi koloni cendawan berupa benang-benang hifa (*mycelia*) menyerupai jarum-jarum kecil yang keluar dari segmen-segmen pada abdomen (Gambar 4.15b).

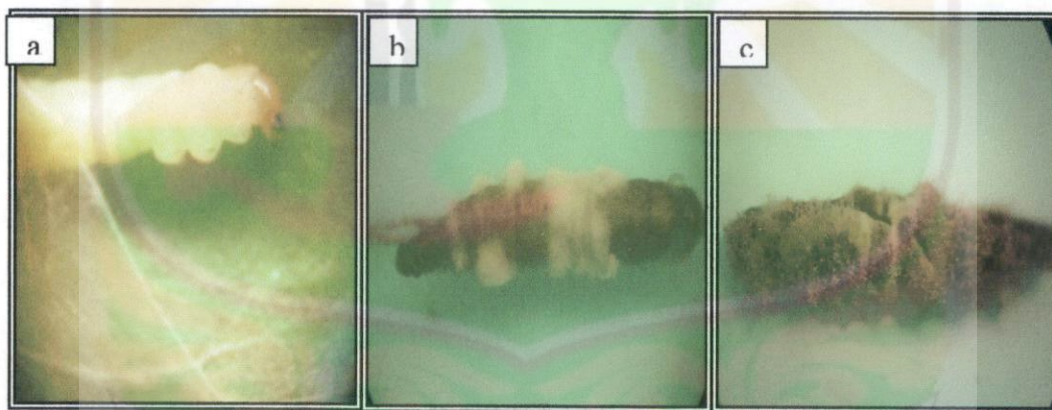


Gambar 4.15 Kolonisasi cendawan *Aspergillus* pada tubuh *C.cramerella* (a) parapupa sehat, (b) kolonisasi umur 3 hsi dan (c) 8 hsi kolonisasi mencapai 96,25 %.

Pengamatan terakhir pada 8 hsi serangga mati hampir seluruhnya (96,25%) tertutupi oleh koloni cendawan berwarna hijau kekuningan (Gambar 4.15c)

Penicillium

Pengamatan terhadap gejala infeksi menunjukkan bahwa kematian baru terjadi pada hari ke dua setelah inokulasi (12,5%) dan terus meningkat sampai hari ke enam (77,75%). Sporulasi konidia pada tubuh serangga berlangsung lebih lambat bila dibanding dengan jenis cendawan entomopatogen lainnya. Hifa tipis berwarna putih baru terlihat pada 3 hsi (Gambar 4.16b). Pada pengamatan 8 hsi, *Penicillium* mampu bersporulasi dan mengkoloni hampir seluruh bagian tubuh inang. Serangga mati akhirnya terlihat berwarna putih kotor agak kehijauan (Gambar 4.16c) dan kolonisasi total mencapai 88,75%.



Gambar 4.16. Kolonisasi cendawan *Penicillium* pada tubuh *C.cramerella* (a) prapupa sehat, (b) kolonisasi umur 3 hsi dan (c) 8 hsi kolonisasi mencapai 88,75 %.

Paecilomyces

Pengamatan terhadap gejala infeksi dan perkembangan tingkat kolonisasi konidia pada tubuh serangga, terlihat bahwa munculnya benang-benang tipis berwarna putih (hifa) terjadi pada 2 hsi (Gambar 4.17b). Tingkat kolonisasi

cendawan terus bertambah pada masing-masing serangga mati. Sampai akhir pengamatan (8 hsi) tingkat kolonisasi rata-rata cendawan pada tubuh serangga hanya mencapai 72,5 % (Gambar 4.17c)



Gambar 4.17. Kolonisasi cendawan *Paecilomyces* pada tubuh *C.cramerella* (a) prapupa sehat, (b) kolonisasi umur 3 hsi dan (c) 8 hsi kolonisasi mencapai 72,5 %.

4.4.5. Persentase imago yang terbentuk

Pengamatan terhadap tingkat kematian serangga uji sampai 8 hsi menunjukkan bahwa rata-rata serangga *C.cramerella* yang tidak mati pada saat uji patogenesitas akan berubah menjadi imago sempurna (Gambar 4.18.a), kecuali pada perlakuan cendawan *Beauveria* diketahui ada imago yang cacat. Terbentuknya imago *C.cramerella* cacat diduga disebabkan oleh akibat lanjut mikotoksin yang terkandung pada cendawan *Beauveria* berupa beauvericin, besuferolit, bassianolit dan isorolit disamping asam oksalat yang mengakibatkan pH darah serangga naik sehingga terhentinya peredaran darah.

Cendawan ini juga menyebabkan kerusakan pada saluran pencernaan, otot, sistem syaraf dan sistem pernapasan sehingga serangga mati dan jika tidak mati akan terjadi keabnormalan tubuh pada fase berikutnya (Trizelia, 2005). Kondisi

ini dapat teramati pada penelitian yang telah dilakukan. Imago cacat tumbuh tidak normal dengan bentuk sayap tidak sempurna, melengkung dan tidak dapat merapat ketubuh serta tidak bisa terbang (Gambar 4.18b).

Persentase imago yang terbentuk sampai akhir pengamatan (8 hsi.) berbeda sangat nyata dengan kontrol (Tabel 4.11). Kondisi ini menunjukkan bahwa semua cendawan yang diuji memiliki tingkat virulensi yang tinggi hingga mampu mematikan serangga uji rata rata diatas 70 %.

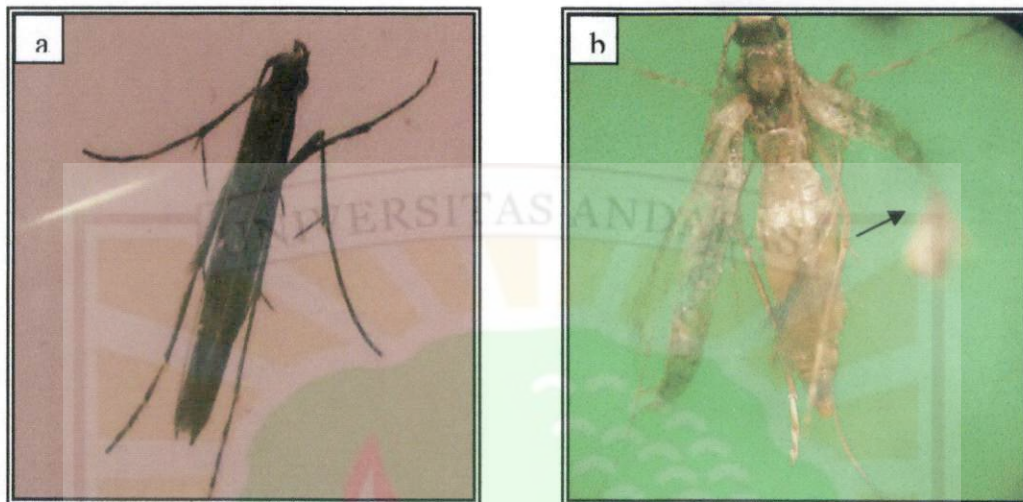
Tabel 4.11. Rata-rata persentase imago yang terbentuk dan efektivitas penekanan terbentuknya imago setelah aplikasi cendawan entomopatogen

Isolat cendawan entomopatogen	Imago yang terbentuk (%)	Efektivitas (%)
Kontrol	95,00 a	-
PenP2	22,50 b	76,32
FusS1	17,50 b	81,58
MetS3	15,00 b	84,21
MetS2	12,50 b	86,84
BbS1	10,00 b	89,47
PaeS4	7,50 b	92,11
BbP1	5,00 b	94,74
MetP3	0,00 b	100
MetP1	0,00 b	100
AsS3	0,00 b	100

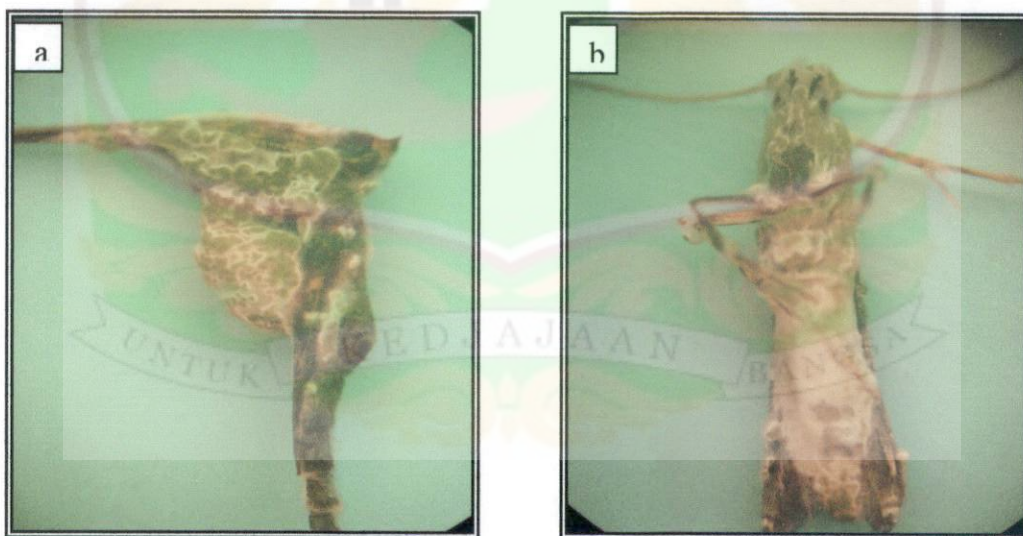
Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji Tukey (HSD) pada taraf nyata 5%

Efektivitas masing-masing cendawan dalam menekan terbentuknya imago *C.cramerella* berbeda tidak nyata antar jenis cendawan. Cendawan *Aspergillus* (AsS3), *Metarhizium* (MetP1 dan MetP3) memiliki efektivitas paling tinggi (100 %) sehingga tidak satupun serangga uji yang mampu menjadi imago, kecuali pada MetP3 ditemukan ada 2 ekor (5 %) yang mampu menjadi imago tetapi mengalami kematian karena terinfeksi (Gambar 4.19). Efektivitas penekanan cendawan *Beauveria* (BbP1, BbS1) tidak berbeda nyata dengan cendawan *Paecilomyces*

(PaeS4) dan *Fusarium* (FusS1). Efektivitas penekanan terbentuknya imago yang paling rendah dimiliki cendawan *Penicillium* (PenP2) yaitu sebesar 76,3%.



Gambar 4.18. Imago *C. cramerella* yang muncul setelah diinokulasi dengan *Beauveria* (isolat BbP1) (a) imago pada kontrol tumbuh sehat dan (b) imago abnormal setelah perlakuan.



Gambar 4.19. Imago *C. cramerella* mati terinfeksi oleh cendawan *Metarhizium* (isolat MetP3), (a) umur 6 hsi dan (b) umur 8 hsi.

Adanya perbedaan tingkat efektivitas masing-masing cendawan uji walaupun tidak nyata (Tabel 4.11) diduga disebabkan oleh berbedanya faktor virulensi masing-masing cendawan seperti produksi mikotoksin, enzim, daya kecambah, laju pertumbuhan dan kemampuan bersporulasi. Hal ini sejalan dengan pendapat Widayat dan Rayati (1993b) yang menyatakan bahwa virulensi yang tinggi disebabkan oleh toksin yang terkandung dalam cendawan. Selanjutnya Samson *et al.*, (1988) menjelaskan bahwa toksin yang dihasilkan oleh cendawan dapat menyebabkan terjadinya lisis pada integumen serangga yang tersusun dari protein dan khitin dan faktor ini sangat mempengaruhi tingkat efektivitas cendawan dalam mematikan serangga uji.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan karakter morfologi dan fisiologi terdapat keanekaragaman cendawan entomopatogen dari rhizosfir tanaman kakao di dua lokasi yang berbeda. Di kabupaten Padang Pariaman ditemukan tiga genus cendawan entomopatogen (*Metarhizium*, *Beauveria* dan *Penicillium*), di kabupaten Solok ditemukan lima genus cendawan entomopatogen (*Beauveria*, *Metarhizium*, *Fusarium*, *Aspergillus* dan *Paecilomyces*).
2. Hasil seleksi isolat masing-masing cendawan entomopatogen menunjukkan bahwa cendawan *Beauveria* (isolat BbP1 dan BbS1) dan *Metarhizium* (isolat MetP3 dan MetP1) merupakan cendawan yang lebih virulen terhadap *C.cramerella* dibandingkan dengan isolat cendawan uji lainnya.
3. Dilihat dari tingkat patogenesitas, cendawan *Aspergillus* spp berpotensi untuk dikembangkan sebagai bioinsektisida.

5.2. Saran

Untuk mengetahui efektivitas masing masing cendawan entomopatogen yang berasal dari rhizosfir tanaman kakao perlu dilakukan uji lanjut di tingkat lapangan dan perlu dilakukan identifikasi lebih lanjut terhadap cendawan entomopatogen sampai pada tingkat spesies

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G.N. Terjemahan. Busnia, M. 1995. Ilmu Penyakit Tumbuhan. Gadjah Mada University Press. 713 hal.
- Alexopolus, C.J., Mims, C.W., and Black Well, M. 1996. Introductory Mycology Fourth Edition. Jhon Wiley and Sons Inc. New York.
- Ali-Shtayeh, M.S., Mara'I, A.B., Jamous, R.M. 2003. Distribution, occurrence and characterization of entomopathogenic fungi in agricultural soil in the Palestinian area. *Mycopathologia* 156(3):235-244.
- Amiri-Besheli, B., Khambay, B., Cameron, S., Deadman, M.L., Butt, T.M. 2006. Inter and Intra-Specific Variation in Destruxin Production by Insect Pathogenic *Metarhizium* spp., and Its Significance to Pathogenesis, Crop Protection Unit. University of Reading United Kingdom. *Journal of The Mycopathologi* 104(4) ; 447-452.
- Anonymous. 2007. Karakteristik cendawan *Metarhizium anisopliae* dan mekanisme infeksi. <http://pangeran cakeb.wordpress.com>. Artikel *Metarhizium* (28 Januari 2009).
- Azwana. 2003. Patogenesitas jamur entomopatogen, *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin terhadap hama penggerek bonggol pisang, *Cosmopolites sordidus* (Germar). Pascasarjana Universitas Andalas Padang. 112 hal.
- Balogun S.A., and Fagade O.E. 2004. Entomopathogenic fungi in population of *Zonocerus variegatus* (L) in Ibadan, Southwest, Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 3(8):382-386.
- Barnett H.L., and Hunter, B.B. 1972. Illustrated genera of imperfect fungi. Third Edition. Burges Publishing Company. Minneapolis.
- Barker C.W, and Barker G.M. 1998. Generalist entomopathogens as biological indicators of deforestation and agricultural land use impacts on Waikato soils. *New Zealand Journal of Ecology* 22(2):189-196.
- Bell, V.J. and Hamale, R. 1970. Three fungi tested for curculio, *Chalodermus aeneus*, J. of Invertebr. Pathol. (15): 447-450
- Bidochka M.J., Kamp A.M and de Croos J.N.A. 2000. Insect pathogenic fungi: from genes to populations. Di dalam: Kronstad JW. editor. *Fungal Pathology*. Netherlands; Kluwer Academic Publishers. Hlm 171-193.
- Boucias D.G., and Pendland J.C. 1998. *Principles of Insect Pathology*. London:Kluwer Academic Publisher

- Butt, T. M., Jackson, C., Mogan, N. 2001. Fungi as Biological Agents : Progress, Problems and Potential. Unites Kingdom. CABI Publishing.
- Cheung, P.Y.K and Grula, E.A. 1982. In vivo events associated with entomopathology of *Beauveria bassiana* for the Corn earworm (*Heliothis zea*) *J.Invertebr. Pathol.* 39: 303-313.
- Darwis, V. 2004. Keragaan, kendala dan manfaat penerapan teknologi PHT kakao rakyat di Kolaka, Sulawesi Tenggara. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial Ekonomi Pertanian. Departemen Pertanian. Jakarta.
- Darmaputra, O.S., Retnowati, I., Ambarwati, S., dan Maysra, E. 2007. *Aspergillus flavus*, infections and Aflatoxin contaminan in imported peanuts at various stages of delivery chain in West Java, Indonesia. Proceeding of First International Confrence on Crop Scurity. P. 291-296.
- Depparaba, F. 2002. Penggerek buah kakao (*Conopomorpha cramerella* Snellen) dan Penanggulangannya. *Jurnal Litbang Pertanian* 21 (2): 69 – 74.
- Desyanti, Hadi,Y.S., Yusuf, S., dan Santoso,T. 2007. Keefektifan Beberapa Spesies Cendawan Entomopatogen untuk Mengendalikan Rayap Tanah, *Coptotermes gerstroi* WASMANN (Isoptera; Rhinotermitidae) dengan Metode Kontak dan Umpan. *J.II. dan Teknologi Kayu Tropis* 5 (2).
- Dickinson, C.H. 1976. Fungi on The Aerial Surface of Higher Plant. Didalam : *Micrology of Phyllosphere*. Dickinson CH and Preece TF (eds) Cambridge University Press. Cambridge. Hlm. 77-100.
- Ditjenbun [Direktorat jendral Perkebunan] 2007. Statistik perkebunan Indonesia 2003 – 2006. Departemen Pertanian. Jakarta.
- Disbun [Dinas Perkebunan] Sumbar. 2008. Laporan serangan OPT penting tanaman perkebunan. Periode Triwulan IV. Disbun Sumatera Barat. Padang
- Entwistle, P.F., 1972. Pest of Cocoa, Tropical Science Series, Longman
- Ferron. 1981. Pest Control by the fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium*. In *Microbial control of inverteb. Pathol.* (15): 447-450
- Ferron. 1985. Fungal control comprehensive insect phisiology. *Biochem pharmacae* (12): 313-346.
- Freimoser, F.M., Screen, S., Bagga, S., Hu, G., and St.Leger,R.J. 2003. Expressed Squense Tag (EST) Analysis of Two Species of *Metarhizium anisopliae* reveals of plethora of Screted Proteins with Potential Activity in Insect Host. <http://mic.sgmjournals.org/cgi/ontent/abstract/149/i/239.htm> (20 Desember 2008)

- Gabriel, B.P., dan Riyanto. 1989. *Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sor. Taksonomi, pathologi, produksi dan aplikasinya. Proyek Pengembangan Perlindungan Tanaman Perkebunan. Departemen Pertanian. Jakarta. 25 hal.
- Gillespie, A.T. 1988. Use of Fungi to Control Pest of Agricultural Importance. In Fungi Biocontrol System Edited by M.N. Burgy. Monchester University.
- Gonsalves, K.A., dan Ferreira, S.A. 2007. Taxonomy of *Fusarium oxysporum*. Extentions Plant Pathologist. Departemen of Plant Pathology, CTAHR. University of Hawaii at Manera.
- Habazar, T., dan Yaherwandi. 2006. Pengendalian Hayati Hama dan Penyakit Tumbuhan. Andalas University Press. 354 hlmn.
- Hantoro, G.L.P. 2006. Patogenesitas Jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap Belalang Kembara (*Locusta migratoria* Manilensis) Tesis. Program Studi Ilmu Hama Tumbuhan. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Hardaningsih, S. 2001. Identifikasi ras jamur entomophaga. Hasil penelitian komponen teknologi tanaman kacang-kacangan dan umbi-umbian. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Malang. Hlm. 53-59.
- Hasyim, A. dan Azwana, 2003. Patogenesitas isolat *Beauveria bassiana* dalam mengendalikan hama penggerek bonggol pisang, *Cosmopolites sardidus* Germar.J. Harti. 13 (2); 120-130.
- Hindayana, D., Judawi, D., Priharyanto, D., Luther, G.C., Mangan, J., Untung, K., Sianturi, M., Warnodiharjo, M., Mundy, P., dan Riyatno. 2002. Musuh alami, hama dan penyakit tanaman kakao. Edisi kedua. Direktorat Perlindungan Perkebunan Departemen Pertanian. Jakarta
- Ignoffo, C.M. 1979. The fungus *Nomuraea rileyi* as amicrobiae insecticide in. H.D. Burges (Ed). Microbial Control of Pest and Plant Disease 1970-1980. Academic Press.New York. Hjmn 513-538.
- Inglis, G. D., Duke, G. M., Kawchuk, L. M. And Goetel, M. S. 1999. Influence of Oscillating Temperatures on The Infection and Colonization of The Migratory Grass Hopper by *Beauveria bassiana* and *Metarhizium flavoridae*. Biological Control. 14 : 114-120.
- Junianto, Y.D., dan Sulistyowati, E. 1994. Virulence of several *Beauveria bassiana* Bals.Vuill. Isolates on Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei* Ferrr) under various relative humudities. Pelita Perkebunan. 10:81-86.

- Junianto, Y.D., dan Sukanto, S. 1995. Pengaruh suhu dan kelembaban relatif terhadap perkecambahan, pertumbuhan dan sporulasi beberapa isolat *Beauveria bassiana*. *Pelita Perkebunan* 11(2). 64-75.
- Junianto, Y.D., dan Sulistyowati, E. 2000. Produksi dan aplikasi agen pengendalian hayati hama utama kopi dan kakao. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao. Jember.
- Junianto, Y.D. dan Sulistyowati, E. 2000. Produksi dan aplikasi jamur *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina, Hyphomycetes) untuk pengendalian penghisap buah kakao (*Helopeltis* spp.) dan penggerek buah kakao (*Conopomorpha cramerella*). Makalah pada "Simposium Kakao 2000" tanggal 26-27 September 2000 di Surabaya.
- Kardin, M. K. dan Priyatno, T.P. 1996. Pemanfaatan Cendawan *Hirsutella citriformis* untuk pengendalian Wereng Coklat (*Nilaparvata lugens* Stall). Temu Teknologi dan Persiapan Pemasarakatan pengendalian Hama Terpadu. Lembang, 27-29 Mei 1996. 25 Hal.
- Kassa, A. 2003. Development and testing of mycoinsecticides based on submerged spores and aerial conidia of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisoplae* for control of Locust, Grasshoppers and Storage Pests (Dissertation). Gottingen hlm 74-90. <http://wcbdoc.sub.gwdg.de/diss/2003/kassa.pdf> (11 Desember 2008)
- Kuecera, M. 1971. Toxin of the entomophagous fungus *Beauveria bassiana*; effect of nitrogen sources on formation on the toxic protease In submerged culture. *J. Invertebr. Pathol* (17): 211-215.
- Kurniawan, I. 2006. Uji Patogenesitas Jamur Isolat Lokal (*Aspergillus cervinus*) terhadap *Blattella germanica* (L.) (Orthoptera; Blattidae). [Tesis] Universitas Pendidikan Indonesia.
- Lacey, L.A. 1997. Initial handling and diagnosis of disease insect. In Lacey, L.A. (ed) *Insect Pathology on advanced teatise*. Academic Press New York 233-271.
- Lim, G.T. and Pan, K. Y. 1986. Observations on the sexual activity and egg production of cocoa pod borer *Conopomorpha cramerella* (Snellen) in the laboratory. Annual research report. Departement of Agricultural, kota Kinibalu, Sabah.
- Madry, B. 1994. Kebijakan teknis perlindungan tanaman dalam kaitannya dengan pengendalian hama penggerek buah kakao (PBK) di Indonesia. Prosiding Lokakarya Penanggulangan Hama PBK di Indonesia. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao. Jember
- Mardinus, 2006. Jamur Patogenik Tumbuhan. Andalas University Press. Padang

- McCoy, C. W. 1974. Fungal Pathogen and Their Use in The Microbial Control and Mites. *Proc. Pest Insect Disease*. 564-573.
- Milner, R.J., Staples, J.A., and Lutton, G.G. 1997. The effect of humidity on germination and infections of Termites by the Hypomycetes, *Metarhizium anisopliae*. *J. Inverteb. Pathol.* (69): 64-69.
- Molina-Ochoa J, Lezama-Gutierrez R, Gonzalez-Ramirez M, Lopez-Edwards M, Rodriguez-Vega MA, Arceo-Palacios F. 2003. Pathogens and parasitic nematodes associated with populations of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in Mexico. *Florida Entomologist* 86(3):244-253.
- Mulyati, N. 2005. Isolasi, Identifikasi dan Uji Patogenesitas Jamur Entomopatogen dari Larva *Heliothis armigera* Hubner. [Tesis]. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Nankinga, C.M. and Ongenga-Latigo, W.M. 1996. Effect of Methode and Aplication on the Effectiveness of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* to the Banana Weevil. *Cosmopolites sordidus* Germar. *African J. Plant Protection* 6: 12-21.
- Neucere, J.N., Ulla, A.H.J., and Cleveland, T.E. 1992. Surface protein of two Aflatoxin producing isolates of *Aspergillus plavus* and *Aspergillus parasiticus* mycelia. I.A. Comparative Immunochemical profile. *J. Agric Food Chem.* 40: 1610-1612.
- Neves, P.M.O.J., and Elves, S. B. 2004. External Events Related to The Infection Process of *Comitermes cumulans* (Kollars) (Isoptera; Termitidae) by The Entomopathogenic Fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. *Journal of The Neotropical Entomo* 33 (1); 051-056.
- Noveriza, R. 2007. Kontaminasi Cendawan dan Mikotoksin pada Tumbuhan Obat. Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatika. Bogor.
- Nuraida, 2007. Seleksi jamur entomopatogen dari rhizosfir pertanian kubis untuk pengendalian *Crocidolomia pavonana* Fabricius (Lepidoptera: Pyralidae) [Tesis]. Universitas Andalas Padang. 79 hlmn.
- Papierok, B., and Hajek, E.A. 1997. Fungi : Entomopathorales. In Lacey.L.A. (Ed) *Biological Technique. Manual of Techniques in insect pathology* Academic Press. London 187-212.
- Prayogo, Y. 2004. Pemanfaatan cendawan entomopatogen *Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sorokin untuk mengendalikan hama ulat grayak *Spodoptera litura* pada kedelai. Departemen hama dan penyakit tumbuhan. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. 23 hlm.

- Prayogo, Y., Tengkonong, W., dan Marwoto, 2005. Prospek cendawan entomopatogen *Metarhizium anisopliae* untuk mengendalikan ulat grayak *Spodoptera litura* pada kedelai. *Jurnal Litbang Pertanian* 24 (1): 19-26.
- Poinar Jr, G.O and Thomas, G.M. 1984. *Laboratory Guide to Insect Pathogens and Parasites*. Plenum Press. New York
- Rauf, A., Shepord BM, Johnson, M.W. 2000. Leafminers in vegetables, ornamental plants and weeds in Indonesia: Survey of host crops, species composition and parasitoid. *Int.J Pest Manage* 46(4); 257-266
- Roddam, L.F. and Rath, A.D. 1997. Isolation and Characterisation of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* from Subantarctic Macquarie Island. *J. Invertb. Pathol.* (69): 285-288.
- Salleh, B. 2005. Plant Disease Caused by *Fusarium* species in The Tropics. *Proceedings of International Conference Crop Security (ICCS)*. Malang, 19-22 September 2005.
- Samson, R.A., Evans, H.C, and Latge, J.P. 1988. *Atlas of Entomopathogenic Fungi*. Springer Verlag, Berlin. Germany. 187 hal.
- Santoso, T., 1995. Dasar dasar patologi serangga. *Prosiding makalah symposium Patologi Serangga*. Yogyakarta. 12-13 Oktober 1995. 1-15.
- Sapieha-Waszkiewicz, A., Marjanska-Cichon, B., Piwowarczyk, Z. 2005. The occurrence of entomopathogenic fungi in the soil from the plantations of black currant and aronia. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 8(1):1-8.
- Sastrosiswoyo, S., Oka I.N, 1997. Implementasi pengelolaan serangga secara berkelanjutan. *Makalah Kongres ke V dan Simposium Entomologi. PEI*. Bandung 24-26 Juni 1997. 14 hlmn.
- Semangun, H. 1991. *Ekologi Patogen Tropika dan Pemanfaatannya dalam Pengendalian Penyakit Tumbuhan*. Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sosa-Gomez, D.R., Delpin, K.E., Moscardi, F., Farias J.R.B. 2001. Natural occurrence of the entomopathogenic fungi *Metarhizium*, *Beauveria*, and *Paecilomyces* in soybean under till and no-till cultivation systems. *Neotropical Entomology* 30(3):407-410.
- Soetopo, D., dan Indrayani, I. 2007. Status Teknologi dan Prospek *Beauveria bassiana* untuk Pengendalian Serangga Hama Tanaman Perkebunan yang Ramah Lingkungan. *Balai Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat*. Malang.

- Strack, B.H. 2003. Biological Control of Termites by the Fungal Entomopathogen *Metarhizium anisopliae*. <http://.Utoronto.ca/forest/termites/metani> 1 htm (7April 2008). 8 hal.
- Steinhouse, F.A. 1949. Principles of pathology. Mc Grawhill Book Company. New York. Toronto and London. 757 hal.
- Sulistyowati, E. dan Iswanto, A. 1988. Uji saring ketahanan beberapa bahan tanaman kakao terhadap penghisap buah *Helopeltis spp.* Balai Penelitian Perkebunan. Jember.
- Sulistyowati, E. dan Parwoto, A.A. 1993. Pengaruh hama penggerek buah kakao (PBK) terhadap mutu biji kakao. Gelar Teknologi Penanggulangan Hama Penggerek Buah di Sulawesi Tengah. Pusat Penelitian kopi dan Kakao. Jember
- Sulistyowati, E., Pardede, D., Wiryadiputra, S., Prawoto, S., Sukmaraganda, T. dan Ginting, C.U. 1995. Pedoman teknis penanggulangan hama penggerek buah kakao di Indonesia. Edisi I. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao. Jember.
- Sulistyowati, E., Yohanes, D., Junianto, Sri Sukanto, Wiradiputra, S., Winarto, L., dan Primawat, N. 2003. Analisis Status penelitian dan pengembangan PHT pada pertanaman kakao. Risalah Simposium Nasional Penelitian PHT Perkebunan rakyat: Bogor 17 – 18 September 2003
- Sulistyowati dan Sulistyowati, E. 1993. Pengaruh hama penggerek buah kakao (PBK) pada mutu biji kakao. Warta Pusat Penelitian kopi dan Kakao 15: 29 – 35
- Sulistyowati, E. 2001. Perkembangan hasil hasil penelitian pengendalian hama penggerek buah kakao (PBK) *Conopomorpha cramerella* Snell. Lokakarya penanggulangan PBK, Juni 2001. Makasar.
- Sulistyowati, E. 2003. Keefektifan *Beuveria bassiana* isolat Bby-725 terhadap penggerek buah kakao, *Conopomorpha cramerella* Snell. Pelita Perkebunan.
- Sulistyowati, E., dan Junianto, D.Y. 1995. Inventarisasi Musuh Alami Hama Penggerek Buah Kakao (PBK), *Conopomorpha cramerella* Snell. Di Provinsi Maluku. Pelita Perkebunan.
- Suntoro, A., Syamsul, A., dan Budiman. 2003. Studi pemerangkapan pupa PBK dengan menggunakan daun kakao. Risalah Simposium Nasional penelitian PHT Perkebunan rakyat. Bogor 17 – 18 September 2003.
- Suroso dan Suprpto. 1999. Pengaruh konsentrasi cendawan *Beauveria bassiana* Vuill terhadap aspek biologi penggerek batang lada (*Lophobaris piperis*

- Mars) (Curculionidae; Coleoptera). Prosiding Seminar Nasional Peranan Entomologi dalam Pengendalian hama yang ramah lingkungan dan ekonomis. Perhimpunan Entomologi Indonesia Cabang Bogor. Buku I : 117-123.
- Susilo, A., Santoso, S., dan Tutung, H. A. 1993. Sporulasi, viabilitas cendawan *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin pada media jagung dan patogenesitasnya terhadap larva *Oryctes rhinoceros*. Simposium Patologi Serangga I. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 12-13 Oktober 1993.
- Taborsky, V. 1992. Small Scale Processing of Microbial Pesticide. FAO Agricultural Services Bulletin No.96. Rome : Food and Agriculture of The United Nation Rome.
- Tachi, S.K. 2004. Entomopathogenic fungi data base (EPFDB). National Institute of Fruit Tree Science (NIFTS). 20 hal.
- Tan, S.G., Muhamad, R., Gan, Y.Y. and Rita, M. 1988. Hexokinase, malate dehydro genase, fluorescent esterase and malic enzyme polymorphisms in the cocoa pod borer, *Conopomorpha cramerella* (Snellen). *Pertanika* 11: 7-13.
- Tanada, Y., dan Kaya, H.K. 1993. *Insect Pathology*. San Diego: Academic Press, INC. Harcourt Brace Jovanovich, Publisher. 666 hlm.
- Teetor-Barcsh, G.H, and Robert, D.W. 1983. Entomopathogenous *Fusarium* species. *Mycopathologia*. 84(1): 3-16.
- Trizelia. 2005. Cendawan Entomopatogen *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Deuteromycotina: Hyphomycetes): Keragaman Genetik, Karakterisasi Fisiologi, dan Virulensinya terhadap *Crociodolomia pavonana* (F.) (Lepidoptera: Pyralidae). [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Utomo, C., dan Pardede, Dj. 1988. Pengendalian biologis hama *Zeuzera coffeae* (Nietn) pada kakao dengan jamur *Beauveria* sp, prosiding Konferensi Nasional Kakao III. Medan. 7 – 9 Maret 1998.
- Utomo, B.P.C.B., Supartha, I.W., dan Sudartha, M 1994. Potensi jamur *Spicaria* sp (Moniliales) sebagai agensia pengendalian hayati kepik penghisap buah kakao, *Helopeltis antonii* Sign (Hemiptera: Miridae) Prosiding symposium Patologi Serangga I. Yogyakarta, 12-13 Oktober 1993. 281-287.
- Walstad, S., Anderson, R.F., and Standbaugh, W. J. 1970. Effects of Environmental Condition on Two Species Muscardine Fungi (*Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*) *J. of Invertebr. Pathol.* 16; 221-226.

- Wardoyo, S. 1982 . The cocoa pod borer. A mayor Hindrance to cocoa development. Indonesian Agriculture Research Development Journal 2 (1): 1 – 4
- Wardoyo, S. 1981. Metode pengamatan penggerek buah cokelat. Prosiding lokakarya hama penggerek buah cokelat. Tanjung Morawa. Hlm. 59 – 64.
- Wardoyo, S. 1994. Sistem pemberantasan hama tanaman cokelat berdasarkan deteksi awal dan perlakuan setempat. Tanggapan atas hasil diskusi hama cokelat di PTP XXIII.
- Watanabe, T. 2002. Soil and Seed Fungi. Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species. Second Edition. CRC Press. New York
- Wessel, M. 1983. Shade and nutrians, Cocoa, Eds.G.A.R. Wood and R. Aloss. Essex: Long Man Group Ltd.
- Widayat, W. dan Rayati, D.J. 1993a. Hasil penelitian jamur entomopatogenik lokal dan prospek penggunaannya sebagai insektisida hayati. Simposium patologi serangga I. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 12-13 Oktober 1993. 61-74.
- Widayat, W. dan Rayati, D.J. 1993b. Pengaruh frekwensi penyemprotan jamur entomopatogenik terhadap ulat jengkal (*Ectropis bhurmitra*) di perkebunan teh. Simposium Patologi Serangga I. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta 12-13 Oktober 1993.
- Widiyanti, N.L.P., dan Mulyadihardja. 2004. Uji toksisitas jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap larva nyamuk *Aedes aegypti*. Media Libang Kesehatan XIV (3).
- Wiryadiputra, S., Atmawinata, O., dan Danimiharja, S. 1993. Pengenalan *Beauveria bassiana* untuk hama penggerek buah kopi. Laporan penelitian perkebunan Jember. Hal. 1-9.
- Wiryadiputra, S. 1994. Prospek dan kendala pengembangan jamur entomopatogenik, *Beauveria bassiana* untuk pengendalian hayati hama penggerek buah kopi, *Hypothenemus hampei*. Pelita Perkebunan. 10, 92-99.
- Zahara, H., dan Hartati, L.H. 2007. Identifikasi jenis cendawan pada tanaman cabai (*Capsicum annum*) pada tofografi yang berbeda. Balai Besar Karantina Tumbuhan Belawan. Makalah seminar pada temu teknis pejabat Fungsional Non Peneliti. Bogor. 21-22 Agustus 2007.

Lampiran 1. Rata-rata *T.molitor* terinfeksi cendawan entomopatogen

Sumber Keragaman	Db	Jk	KT	F. hitung	F.tabel (5%)
Perlakuan	3	6068.8	2022.92	5.19	3.23
Sisa	12	4675.0	389.58		
Total	15	10743.8			

Lampiran 2. Rata-rata persentase pertumbuhan cendawan *B.bassiana* dari sampel tanah pada medium selektif DOC-2

Sumber Keragaman	Db	Jk	KT	F. hitung	F.tabel (5%)
Perlakuan	3	129.688	43.2292	52.02	3.35
Sisa	12	843.750	70.3125		
Total	15	973.438			

Lampiran 3. Rata-rata pertumbuhan koloni cendawan entomopatogen pada media SDAY (20 hsi.)

Sumber Keragaman	Db	Jk	KT	F. hitung	F.tabel (5%)
Perlakuan	9	39.600	4.40000	52.02	3.35
Sisa	30	65.500	70.3125		
Total	39	973.438			

Lampiran 4. Rata-rata persentase daya kecambah (viabilitas) berbagai isolat cendawan entomopatogen

Sumber Keragaman	Db	Jk	KT	F. hitung	F.tabel (5%)
Perlakuan	9	86.900	9.65556	1.50	3.35
Sisa	30	193.000	6.43333		
Total	39	279.900			

Lampiran 5. Rata-rata jumlah konidia (sporulasi) berbagai isolat cendawan entomopatogen

Sumber Keragaman	Db	Jk	KT	F. hitung	F.tabel (5%)
Perlakuan	9	92.100	10.2333	2.38	3.35
Sisa	30	129.000	4.3000		
Total	39	221.100			

Lampiran 6. Mortalitas prapupa *C.cramerella* 8 hari setelah aplikasi cendawan entomopatogen

Sumber Keragaman	Db	Jk	KT	F. hitung	F.tabel (5%)
Perlakuan	10	29154.5	2915.45	32.1	3.37
Sisa	33	3000.0	90.91		
Total	43	32154.5			

Lampiran 7. Teknik perbanyakan *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)

Larva *Tenebrio molitor* (ulat hongkong) diperoleh dari tempat penjualan pakan burung. Larva kemudian dibiakan dengan memberi makanan jagung giling (pelet) hingga menjadi pupa. Pupa kemudian dimasukan kedalam kotak yang diberi alas serbuk gergaji sampai jadi imago dan bertelur, kedalam kotak diberi pakan yang sama dengan makanan larva. Pengamatan dilakukan setiap hari jika ada telur yang menetas, larva dipisah sesuai dengan umurnya. Larva inilah yang kemudian digunakan untuk memerangkap jamur dari tanah (*insect baiting methode*)

Lampiran 8. Komposisi medium perbanyakan cendawan entomopatogen

Jenis Media	Komposisi	Referensi
SDAY (Sabouraud Dextrose Agar Yeast Extract)	- Dextrose 40 g - Peptone 10 gr - Yeast extract 2 g - Agar 15 gr - Akuadest 1 liter	Samuel <i>et al.</i> , 2002 Lacey, 1997
DOC-2	- Bactopepton 3g - CuCl ₂ 2g - Kristal violet 2 mg - Agar 15 g - Akuadest 1 liter	Shimazu <i>et al.</i> , 2002 <i>cit</i> Trizelia, 2005

Lampiran 9. Metode pengambilan sampel bertingkat (*Stratified Sampling*)